



TUGAS AKHIR - 141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
TEMPERING TERHADAP KEKERASAN MATERIAL *CHAIN SHACKLE*
YANG DI-*HARDENING* SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *CHAIN*
SHACKLE

Redy Rizky Santoso
02511440000055

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TL 141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN
MATERIAL *CHAIN SHACKLE* YANG DI-HARDENING
SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *CHAIN SHACKLE*

REDY RIZKY SANTOSO
0251144000055

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Wikan Jatimurti. ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TL 141584

ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION TEMPERING
TEMPERATURE AND HOLDING TIME OF TEMPERING ON
HARDNESS IN HARDENED CHAIN SHACKLE AS A
SOLUTION OF A CHAIN SHACKLE FAILURE

REDY RIZKY SANTOSO
02511440000055

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Wikan Jatimurti. ST., M.Sc

MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPEATUR DAN
WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN
MATERIAL *CHAIN SHACKLE* YANG DI-*HARDENING*
SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *CHAIN*
*SHACKLE***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

REDY RIZKY SANTOSO

02511440000055

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.**.....(Pembimbing 1)
2. **Wikan Jatimurti. ST.,M.Sc.**.....(Pembimbing 2)



**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN
MATERIAL *CHAIN SHACKLE* YANG DI-*HARDENING*
SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *CHAIN
SHACKLE***

Nama Mahasiswa : Redy Rizky Santoso
NRP : 02511440000055
Jurusan : Teknik Material
Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem. M.Sc.
Wikan Jatimurti. ST., M.Sc

Abstrak

Bucket elevator merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk mengangkut material yang belum terbentuk menjadi semen. dalam penggunaannya, *bucket elevator* di hubungkan dengan *chain shackle*. *Chain shackle* pada *bucket elevator* telah mengalami masalah keausan karena material tersebut tidak sesuai dengan standar DIN 745 sehingga diperlukan optimalisasi dengan perlakuan panas. Dalam penelitian ini dilakukan proses analisis pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan tempering terhadap kekerasan material *chain shackle* yang di *hardening* sebagai solusi kegagalan pada *chain shackle*. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi, metalografi, hardness dan ketahanan aus. Dari hasil uji komposisi didapatkan bahwa material *chain shackle* adalah baja AISI 1030. kemudian diberi pelakuan *hardening-tempering* dengan temperatur austenisasi 850°C dan dilakukan pendinginan dengan air. Spesimen kemudian ditemper dengan temperatur 200 °C, 250 °C, dan 300 °C dengan waktu tahan tempering 1 jam dan 2 jam. Kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan perlakuan tempering 200 °C dan waktu tahan 1 jam sebesar 588 HV dengan laju keausan 2mm/jam. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa kekerasan berbanding terbalik dengan laju keausan

Kata kunci: *Bucket Elevator, Chain Shackle, Heat Treatment, kekerasan, ketahanan aus*

(halaman ini sengaja di kosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION TEMPERING TEMPERATURE AND HOLDING TIME OF TEMPERING ON HARDNESS IN HARDENED CHAIN SHACKLE AS A SOLUTION OF A CHAIN SHACKLE FAILURE

Name : Redy Rizky Santoso
SRN : 02511440000055
Major : Teknik Material
Advisor : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Advisor : Wikan Jatimurti., ST., M.Sc

Abstract

Bucket Elevator is a component that serves to transport the material that has not formed into cement. in the use, the bucket elevator is connected to the chain shackle. Chain shackle on the bucket elevator has experienced wear problems because the material is not suitable according to DIN 745 standards so optimization is required by using heat treatment. In this research, the topic is about analysis the effect of variation tempering temperature and holding time of tempering on hardness in hardened chain shackle as a solution of a chain shackle failure. Tests carried out include composition tests, metallography, hardness and wear resistance. From the composition test results, we obtained that the material chain shackle is equivalent with AISI 1030 steel. Then the specimenis given the hardening-tempering treatment with austenization temperature at 850°C and quenched with water. Then, the specimen is tempered with a temperature of 200°C, 250°C, and 300°C with a tempering time of 1 hour and 2 hours. The highest hardness was obtained in specimens with tempering treatment at 200°C and 1 hour holding time with 588 HV and 2mm / hour wear rate. Based on the test results found that the hardness is inversely proportional to the rate of wear

Keyword: Bucket Elevator, Chain Shackle, Heat Treatment, hardness, wear resistance

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis haturkan kehadiran tuhan yang maha kuasa dan maha memberi karunia. Sehingga atas kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

“ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN MATERIAL *CHAIN SHACKLE* YANG DI-*HARDENING* SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *CHAIN SHACKLE*”

Penulis dengan penuh rasa hikmat ingin menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. **Allah SWT** yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya
2. **Orang Tua penulis** yang telah memberi bantuan secara moril dan materil serta do'a yang tak putus sehingga penulis tetap tegar dalam menyelesaikan tugas akhir ini
3. **Adikku tercinta**, terimakasih atas motivasi dan dukungannya
4. **Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Wikan Jatimurti. ST., M.Sc** selaku pembimbing dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih atas bimbingan dan motivasi yang tak kunjung henti
5. **Seluruh civitas akademika Teknik Material ITS, rekan-rekan Laboratorium Metalurgi serta karyawan Laboratorium Metalurgi** atas dukungan serta bantuannya sehingga memberi kemudahan kepada penulis dalam urusan administratif serta urusan yang lainnya.
6. **Bapak Avandi Sagita, Bapak Haspar, dan Bapak Yusuf** selaku pembimbing dari PT Semen Indonesia Tbk
7. **Teman-temanku MT16**, yang tak henti memberi penyegaran serta memberi motivasi saat penulis sedang patah semangat.
8. **Teman-teman** yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungannya dan candaannya yang membuat penulis tertawa dikala stres dalam mengerjakan tugas akhir ini

9. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan temanteman sekalian.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 18 Desember 2017

Penulis,
Redy Rizky Santoso
02511440000055

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Bucket Elevator</i>	5
2.2 Pengertian Chain Shackle DIN 745.....	6
2.3 Material Chain Shackle	7
2.4 Baja AISI 1030	7
2.5 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	9
2.6 Analisa Kegagalan.....	12
2.7 Pengertian Keausan	14
2.8 Pengujian Komposisi.....	18
2.9 <i>Heat Treatment</i>	19
2.10 Pengujian Kekerasan	27
2.11 Uji Kekerasan Vickers.....	28
2.12 Pengujian Keausan <i>Pin on Disc</i>	28
2.13 Pengamatan Struktur Mikro	29
2.14 Penelitian Sebelumnya	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.2 Metode Penelitian.....	43

3.3 Material yang Digunakan	43
3.4 Peralatan	45
3.5 Tahapan Penelitian	48
3.6 Rancangan Penelitian	53
BAB IV ANALISI DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Pengujian	55
4.2 Pembahasan	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	xii
LAMPIRAN.....	xvi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xxii
BIODATA PENULIS.....	xxiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	A. system kerja pemasukan, B system kerja pengeluaran	5
Gambar 2.2	Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C	11
Gambar 2.3	Mekanisme <i>abravise wear</i> akibat proses <i>cutting</i>	15
Gambar 2.4	Proses Perpindahan Logam karena <i>Adhesive Wear</i>	16
Gambar 2.5	<i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis.....	16
Gambar 2.6	<i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat	17
Gambar 2.7	Diagram TTT untuk baja hypoeutektoid.....	20
Gambar 2.8	Rentang temperature austenitisasi pada perlakuan panas	21
Gambar 2.9	diagram CCT untuk baja AISI 4130	23
Gambar 2.10	Tiga Tahapan pada <i>quenching</i>	24
Gambar 2.11	diagram IT yang telah di- <i>super impose</i> untuk perlakuan konvensional <i>quench</i> dan <i>temper</i>	25
Gambar 2.12	diagram IT yang telah di- <i>super impose</i> untuk perlakuan <i>marquenching</i>	26
Gambar 2.13	diagram IT yang telah di- <i>super impose</i> untuk perlakuan <i>austempering</i>	26
Gambar 2.9	diagram IT yang telah di- <i>super impose</i> untuk perlakuan <i>isothermal quenching</i>	27
Gambar 2.16	<i>Chain link</i> yang mengalami kegagalan	35
Gambar 2.15	mikrostruktur pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% a. Ferrit (200x) b. Perlit kasar (1500x).....	31
Gambar 2.16	mikrostruktur pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% a. Perlit Halus (1500x) b. Bainit atas (1000x)	32

Gambar 2.17	mikrostruktur pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% a. Bainit bawah (2500x) b. martensit (1000x)	33
Gambar 2.18	mikrostruktur tempered martensit (1000x) pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4%	34
Gambar 2.19	Chain link yang mengalami kegagalan	35
Gambar 2.20	mekanisme pengausan pada rantai	36
Gambar 2.21	a. <i>leaching</i> Fe ₅₀ Al ₅₀ ke baja tulangan b. aktivasi LTFTS untuk membentuk karbida epsilon.....	38
Gambar 2.22	analisa spesimen menggunakan <i>Mössbauer spectrum</i>	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Material <i>Chain shackle</i> yang mengalami keausan	44
Gambar 3.3	Mesin <i>Wire Cut</i>	45
Gambar 3.4	Mesin OES (<i>Optical Emmision Spetrocopy</i>).....	46
Gambar 3.5	Mesin uji kekerasan	46
Gambar 3.6	Mikroskop Optik	47
Gambar 3.7	A. desain <i>pin</i> , B. desain <i>disk</i>	48
Gambar 3.8	Kurva Perlakuan panas spesimen.....	49
Gambar 3.9	Kamera SLR Canon	50
Gambar 3.10	Mesin Uji Kekerasan.....	51
Gambar 3.11	Mesin <i>Pin on Disc</i>	52
Gambar 4.1	Material <i>Chain shackle</i> pada elevator	55
Gambar 4.2	Material <i>Chain shackle</i> yang mengalami keausan : A. Bagian kiri, B. Bagian kanan.....	57
Gambar 4.3	Pembagian daerah indentasi: A. Dekat dari Aus B. Jauh dari aus	59
Gambar 4.4	Daerah Indentasi Uji Kekerasan pada spesimen yang telah melewati proses <i>hardening</i> dan <i>tempering</i>	60
Gambar 4.5	Perbandingan kekerasan spesimen	61

Gambar 4.6	Struktur Mikro <i>Chain shackle</i> dengan etsa nital 4% dan perbesaran 1000x	62
Gambar 4.7	Struktur Mikro AISI 1045 <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i> dengan etsa nital dan perbesaran 3000x	63
Gambar 4.8	struktur mikro material <i>chain shackle</i> setelah dihardening dengan temperature austenisasi 850 °C dan waktu tahan 30 menit <i>waterquenched</i> dengan etsa natal 4% dan perbesaran 1000x	64
Gambar 4.9	struktur mikro material <i>chain shackle</i> dengan temperature <i>tempering</i> 200°C dan waktu tahan <i>tempering</i> a.1 jam dan b. 2 jam dengan etsa natal 4% dan perbesaran 1000x.....	65
Gambar 4.10	struktur mikro material <i>chain shackle</i> dengan temperature <i>tempering</i> 250°C dan waktu tahan <i>tempering</i> a.1 jam dan b. 2 jam dengan etsa natal 4% dan perbesaran 1000x.....	66
Gambar 4.11	struktur mikro material <i>chain shackle</i> dengan temperature <i>tempering</i> 300°C dan waktu tahan <i>tempering</i> a.1 jam dan b. 2 jam dengan etsa natal 4% dan perbesaran 1000x.....	67
Gambar 4.12	Grafik laju keausan spesimen	68

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standart penggunaan Chain Shackle DIN 745 pada Bucket Elevator	6
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Chain Shackle	7
Tabel 2.3 Kekerasan Baja AISI 1030.....	8
Tabel 2.4 Kekerasan Baja AISI 1030 setelah proses pengerasan dan tempering.....	9
Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin ..	12
Tabel 2.6 Kasus kegagalan material akibat kegagalan komponen	13
Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin	14
Tabel 2.8 Komposisi Material Chain Link	35
Tabel 2.9 Pengaruh Lingkungan Terhadap Keausan.....	36
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Chain Shackle	45
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian	53
Tabel 4.1 Keterangan gambar Chain Shackle	56
Tabel 4.2 Record material chain shackle	56
Tabel 4.3 Hasil Pengujian kekerasan Material Chain shackle yang gagal	59
Tabel 4.4 Hasil Kekerasan Material Chain shackle setelah heat treatment	61
Tabel 4.5 rata-rata hasil pengujian keausan pada material yang di-hardening dan tempering	68

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Keberhasilan pembangunan pabrik Tuban IV dan Tonasa V, serta akuisisi perusahaan semen Vietnam Thang Long Cement Company pada akhir tahun 2013, maka pada awal tahun 2013 perseroan memiliki kapasitas terpasang sebesar 30 ton/tahun dan telah menjadi perusahaan semen terbesar di Asia Tenggara berdasarkan kapasitas terpasang. Saat 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia meningkat menjadi 33 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestik. PT. Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa, dan Thang Long Cement. Untuk PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Pabrik Semen Memiliki beberapa plant salah satunya adalah finish mill. Finish mill merupakan plant yang berfungsi untuk melakukan finishing terhadap semen yang telah dicampur. Sebagian besar komponen dari plant finish mill terdiri dari belt conveyor dan ball mill. Pada penelitian kali ini, plant finish mill yang mengalami masalah adalah finish mill 9 yang baru mulai beroperasi sejak pertengahan 2013. Finish mill 9 yang selanjutnya biasa disebut OK mill memiliki problem pada bagian bucket elevator. Bucket elevator sendiri berfungsi untuk mengangkat semen yang belum tercampur atau belum memiliki kehalusan yang sesuai. Salah satu bagian bucket elevator yaitu *chain shackle* yang menempel dengan bucket tersebut. *Chain shackle* mengalami kegagalan pada tanggal 1 September 2017 berupa keausan pada bagian yang bersinggungan dengan rantai.

Chain shackle tersebut telah diuji komposisi menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) dan memiliki komposisi yang tidak sesuai dengan standar material *chain shackle* sehingga



diperlukan optimalisasi menggunakan perlakuan panas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari *chain shackle* sehingga kegagalan dapat diminimalisir.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu tahan *tempering* pada proses pengerasan baja AISI 1030 terhadap kekerasan dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *tempering* pada proses pengerasan baja AISI 1030 terhadap kekerasan dan struktur mikro?

1.3 Batasan Masalah

1. Data operasi berupa jumlah material semen gagal yang diangkut sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *Chain shackle* memenuhi standar operasional
3. Material dianggap homogen di semua sisi
4. Pengaruh lingkungan diabaikan
5. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh waktu tahan *tempering* pada proses pengerasan baja AISI 1030 terhadap kekerasan dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *Chain shackle* di *Bucket Elevator*.
2. Menganalisis pengaruh temperatur *tempering* pada proses pengerasan baja AISI 1030 terhadap kekerasan dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *Chain shackle* di *Bucket Elevator*.



1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi. PT. Semen Indonesia Tbk sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *Chain shackle* dapat ditanggulangi
2. Referensi pemilihan bahan pada *Chain shackle*.
3. Referensi perlakuan panas pada *Chain shackle*

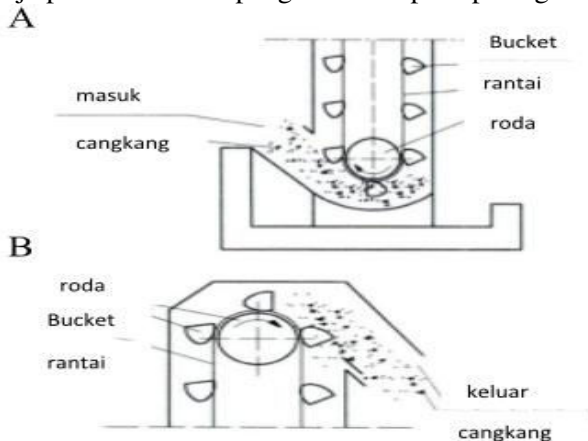


(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bucket Elevator*

Bucket elevator merupakan alat pengangkut material curah yang ditarik oleh sabuk atau rantai tanpa ujung dengan arah lintasan yang biasanya vertikal, serta pada umumnya ditopang oleh casing atau rangka. Ditinjau dari segi sejarahnya, bucket Elevator merupakan alat pengangkut yang banyak digunakan dimana pada zaman pra-sejarah, mekanismenya berupa keranjang anyam yang diikat pada tali dan bergerak di atas ikatan kayu yang kaku serta digerakkan oleh tenaga manusia. Seiring dengan perkembangan teknologi maka Bucket Elevator terus mengalami perubahan ke arah penyempurnaannya. Bucket Elevator merupakan jenis alat pengangkut yang memanfaatkan timba-timba yang tersusun dengan jarak antar timba yang seragam dan beraturan. Pada umumnya bucket elevator memiliki dua system kerja yaitu system kerja pemasukan dan pengeluaran seperti pada gambar 2.1.




Gambar 2.1 A. system kerja pemasukan, B system kerja pengeluaran (Hamsi, 2009)



2.2 Pengertian *Chain shackle* DIN 745

Chain shackle dengan standart DIN 745 berfungsi untuk menghubungkan ujung rantai pada system bucket elevator. Untuk sistem penggerak yang hampir setiap saat mengalami gesekan, standar DIN merekomendasikan untuk menggunakan ukuran *chain shackle* yang lebih besar seperti pada table di bawah ini

Tabel 2.1 Standart penggunaan *Chain shackle* DIN 745 pada *Bucket Elevator*

Chain shackles DIN 745	t	a	b	d1	d2	d4	M	h	l	Weight*	Min. breaking load			Distance plate			Weight
											C45 vi	G80 E10 vi		l1	b	s	
	[mm]									[kg/pc.]	[kN]	**[kN]		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/pc.]
	45	20	73	11,5	14	12,5	M 10	40	25	0,15	76	80		75	30	5	0,08
	56	25	92	15	18	16,5	M 12	50	32	0,32	112	125		95	40	6	0,17
	63	30	105	18	21	20	M 16	60	40	0,55	142	150		110	40	6	0,18
	70	34	116	20	23	23	M 20	68	45	0,86	176	200		120	50	6	0,25
	80	37	132	23	26	25	M 20	74	45	1,08	230	250		130	50	6	0,27
	91	43	149	26	29	29	M 24	86	55	1,65	300	315		150	60	8	0,50
	105	50	173	30	34	31	M 24	100	55	2,20	395	425		165	60	8	0,56
	126	59	206	36	40	37	M 30	118	70	3,95	570	600		200	70	10	0,97
	147	68	239	42	46	42	M 30	136	70	5,50	775	850		230	80	12	1,15

Chain shackle terbuat dari baja yang telah diberikan perlakuan panas dengan kadar karbon 0.45% atau baja dengan paduan Chromium-Nickle. Beberapa *Chain shackle* diberikan pengerasan permukaan dengan metode carburizing.

(Pewag, 2017)



2.3 Material *Chain shackle*

Berdasarkan ASTM A973, Pemilihan dan jumlah paduan elemen tergantung dari produsen atau permintaan konsumen. Kandungan unsur yang tertera dalam baja tersebut paling tidak memiliki: karbon = 0,35% max; fosfor = 0,025% maks; belerang = 0,025% maks. Unsur berikut semua harus hadir dalam jumlah paduan, nikel (0,40% min), kromium (0,40% min), dan molibdenum (0,15% min) sehingga dapat menghasilkan Chain dengan grade yang baik. Berikut ini adalah sifat mekanik dari *chain shackle*.

Tabel 2.2 sifat mekanik *chain shackle*

Nominal Chain Size		Material Diameter		Working Load Limit (max)		Proof Test (min)		Minimum Breaking Force		Inside Length (max)		Inside Width Range	
in.	mm	in.	mm	lb	kg	lb	kN	lb	kN	in.	mm	in.	mm
7/32	5.5	0.217	5.5	2700	1220	5400	23.8	10 800	47.6	0.69	17.6	0.281 to 0.325	7.14 to 8.25
1/8	7	0.276	7.0	4300	1950	8600	38.5	17 200	77	0.90	22.9	0.375 to 0.430	9.53 to 10.92
9/32	8	0.315	8.0	5700	2600	11 400	51	22 800	102	1.04	26.4	0.430 to 0.500	10.92 to 12.70
1/4	10	0.394	10.0	8800	4000	17 600	79	35 200	158	1.26	32.0	0.512 to 0.600	13.00 to 15.20
1/2	13	0.512	13.0	15 000	6800	30 000	134	60 000	268	1.64	41.6	0.688 to 0.768	17.48 to 19.50
3/4	16	0.630	16.0	22 600	10 300	45 200	201	90 400	402	2.02	51.2	0.812 to 0.945	20.63 to 24.00
1	20	0.787	20.0	35 300	16 000	70 600	315	141 200	630	2.52	64.0	0.984 to 1.18	25.0 to 30.0
1 1/4	22	0.866	22.0	42 700	19 400	85 400	381	170 800	762	2.77	70.4	1.08 to 1.30	27.5 to 33.0

(ASTM A973, 2003)

2.4 Baja AISI 1030

Baja AISI 1030 mengandung karbon sekitar 0,30% dan persentase mangan yang relatif rendah telah terbatas kemampuan las. Baja karbon sedang digunakan secara ekstensif di mesin dan peralatan. Seringkali baja ini dipilih ketahanan pakai mereka daripada kekuatan tinggi, dan kekuatannya Bagian yang sering harus diolah



panas untuk memenuhi in-service persyaratan kekuatan seperti pada tabel 2.3 dan 2.4.

Tabel 2.3 Kekerasan Baja AISI 1030

AISI grade ^(a)	Condition or treatment	Tensile strength		Yield strength		Elongation ^(c) , %	Reduction in area, %	Hardness, HB	Izod impact strength	
		MPa	ksi	MPa	ksi				J	ft · lbf
	Annealed at 870 °C (1600 °F)	385	56	285	41	37.0	70	111	115	85
1020	As-rolled	450	65	330	48	36.0	59	143	87	64
	Normalized at 870 °C (1600 °F)	440	64	345	50	35.8	68	131	118	87
	Annealed at 870 °C (1600 °F)	395	57	295	43	36.5	66	111	123	91
1022	As-rolled	505	73	360	52	35.0	67	149	81	60
	Normalized at 925 °C (1700 °F)	485	70	360	52	34.0	68	143	117	87
	Annealed at 870 °C (1600 °F)	450	65	315	46	35.0	64	137	121	89
1030	As-rolled	550	80	345	50	32.0	57	179	75	55
	Normalized at 925 °C (1700 °F)	525	76	345	50	32.0	61	149	94	69
	Annealed at 845 °C (1550 °F)	460	67	345	50	31.2	58	126	69	51



Tabel 2.4 Kekerasan Baja AISI 1030 setelah proses pengerasan dan *tempering*

Grade	Carbon content, %	Hardness, HRC, after tempering for 2 h at								Heat treatment
		205	260	315	370	425	480	540	595	650

		°C (400 °F)	°C (500 °F)	°C (600 °F)	°C (700 °F)	°C (800 °F)	°C (900 °F)	°C (1000 °F)	°C (1100 °F)	°C (1200 °F)	
Carbon steels, water hardening											
1030	0.30	50	45	43	39	31	28	25	22	95 ^(a)	Normalized at 900 °C (1650 °F) water quenched from 830-845 °C (1525-1550 °F); average dew point, 16 °C (60 °F)
1040	0.40	51	48	46	42	37	30	27	22	94 ^(a)	
1050	0.50	52	50	46	44	40	37	31	29	22	

(ASM vol 4, 1991)

2.5 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena



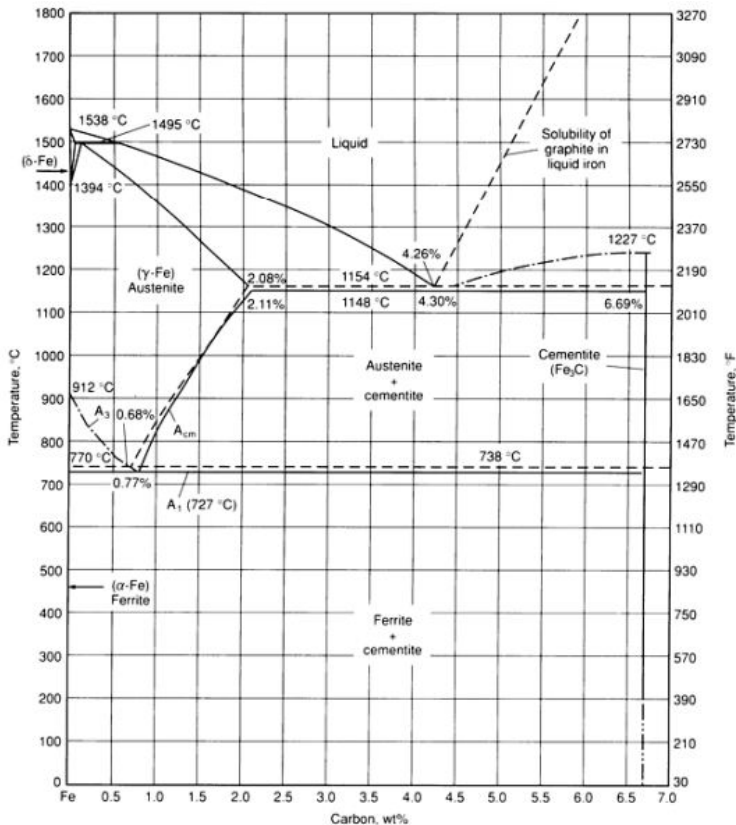
itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe_3C , yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$.

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Avner, 1974)

Dari Gambar 2.2 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C , kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $\text{L} + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C , kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $\text{L} \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada 723°C , kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*.
- $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe – Fe₃C, garis putus-putus merupakan garis diagram Fe-C (ASM vol 4, 1991)

2.6 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi



yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2



2. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.6 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi

Tabel 2.6 Kasus kegagalan material akibat kegagalan komponen (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.7



Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperatur tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi penggetasan <i>hydrogen</i> dan korosi <i>fatigue</i>	3
Abrasi, Erosi	3

2.7 Pengertian Keausan

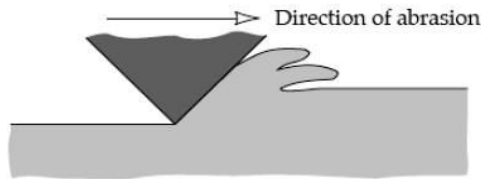
Definisi paling umum dari keausan yang telah dikenal sekitar 50 tahun lebih yaitu hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya (Yuwono, 2008). Keausan biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan (Gahr, 1987) sedangkan menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* dan *thermal wear* (Hokkirigawa dan Kato, 1989).

2.7.1 Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical Wear*)

Digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow* dan *fatigue wear*.

a. *Abrasive wear*.

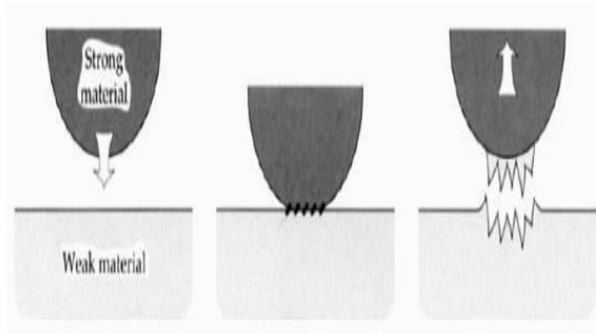
Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut (*earth moving equipment*) (Gahr, 1987) (Hokkirigawa dan Kato, 1989). Contoh : Proses permesinan seperti *cutting*



Gambar 2.3 Mekanisme *abravise wear* akibat proses *cutting* (Stachowiak, 2000)

b. *Adhesive wear*.

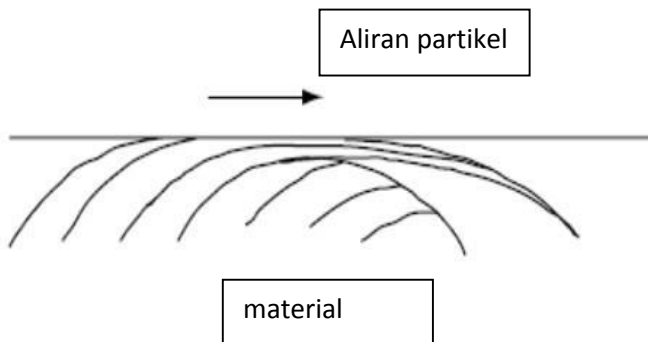
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras.



Gambar 2.4 Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear* (Stachowiak, 2000)

c. *Flow wear*

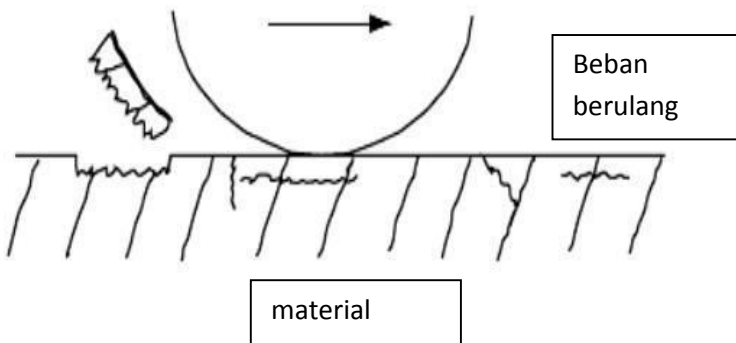
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain



Gambar 2.5 *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

d. *Fatigue wear.*

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*). Ciri-ciri nya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar, seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain sebagainya



Gambar 2.6 *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2000)

2.7.2 *Keausan Karena Perilaku Kimia (Chemical)*

a. *Oxidative wear*

Pada peningkatan kecepatan sliding dan beban rendah, lapisan oksida tipis, tidak lengkap, dan rapuh terbentuk. Pada percepatan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida menjadi berkelanjutan dan lebih tebal, mencakup seluruh permukaan. Contoh: Permukaan luncur di dalam lingkungan yang oksidatif.

b. *Corrosive wear*

Mekanisme ini ditandai oleh batas butir yang korosif dan pembentukan lubang. Misalnya, permukaan *sliding* di dalam lingkungan yang korosif.



2.7.3 Keausan Karena Perilaku Panas (*Thermal Wear*)

c. *Melt wear*

Keausan yang terjadi karena panas yang muncul akibat gesekan benda sehingga permukaan aus meleleh.

d. *Diffusive wear*

Terjadi ketika ada pancaran (*diffusion*) elemen yang melintasi bidang kontak misalnya pada perkakas baja kecepatan tinggi.

Dalam banyak situasi keausan, ada banyak mekanisme yang beroperasi secara serempak, tetapi biasanya ada satu mekanisme penentu tingkat keausan yang harus diteliti dalam hal ini berhubungan dengan masalah keausan. Hubungan antara koefisien gesek dan laju keausan belum ada penjelasan yang tepat, karena hubungan keduanya selalu berubah terhadap waktu. (Blau, 2001)

2.8 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

Prinsip dasar dari diketahuinya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atomnya menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka electron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsur. Hal ini menjelaskan bahwa suatu unsur dan



kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. (Yogantoro, 2010)

2.9 Heat treatment

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu (Avner, 1974). Secara umum *heat treatment* dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

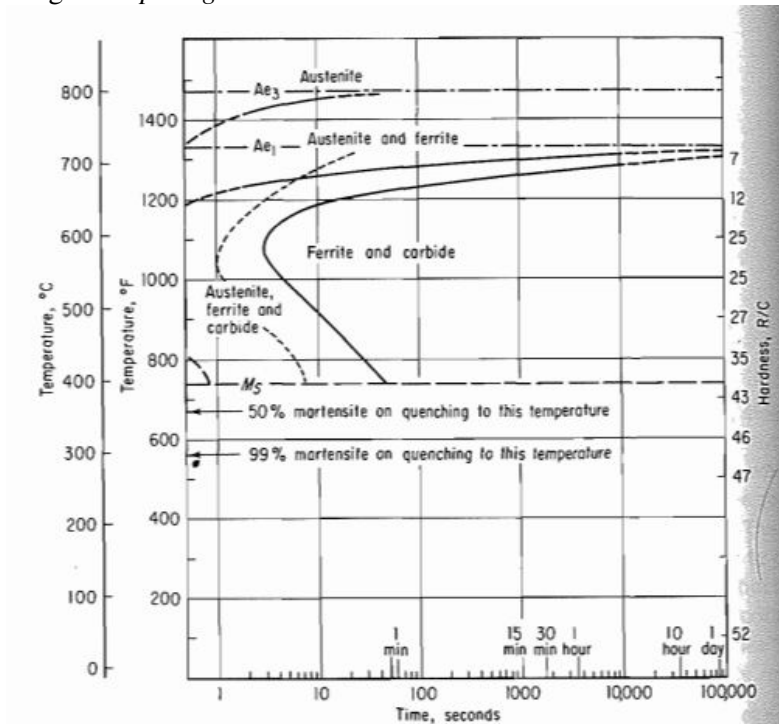
1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses *heat treatment* dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses *heat treatment* dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat. (Yani, 2008)

2.9.1 Hardening

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan kemudian *tempering* untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau media oli, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda. Prosedur untuk *quenching* dan *tempering* seperti pada Gambar 2.7 *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang



saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.



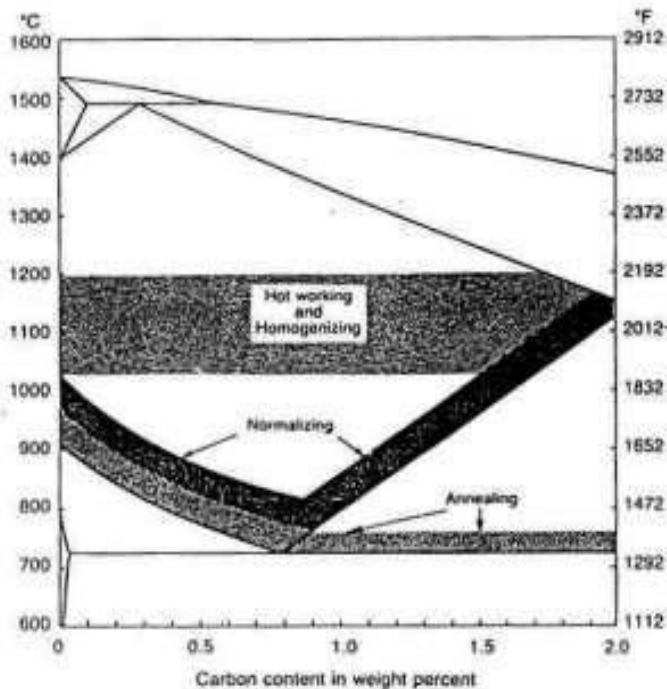
Gambar 2.7 Diagram TTT untuk baja hypoeutektoid (ASM vol 4, 1991)

Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Penambahan unsur paduan akan menggeser hidung diagram TTT ke kanan, sehingga mempermudah benda kerja yang tebal untuk dikeraskan. Unsur paduan tidak meningkatkan kekerasan martensit secara



2.9.2 Austenitizing

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Rentang temperature austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell, 2008)

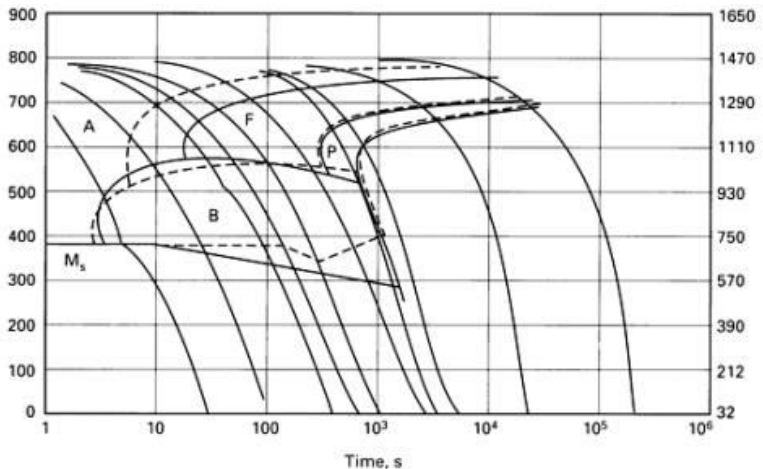
Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A3 sampai mencapai minimum pada A1, komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis Acm . Tahap



pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit ($\text{ferit} + \text{Fe}_3\text{C}$). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell, 2008). Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit pada baja *hypereutektoid* cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C . Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja.

2.9.3 Cooling

Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit. Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Proses quenching dilakukan berdasarkan diagram continuous cooling transformation (CCT) seperti pada gambar 2.9 untuk baja low carbon alloy steel. Dengan menggunakan diagram CCT, laju pendinginan dapat dipilih untuk mendapatkan struktur mikro tertentu.



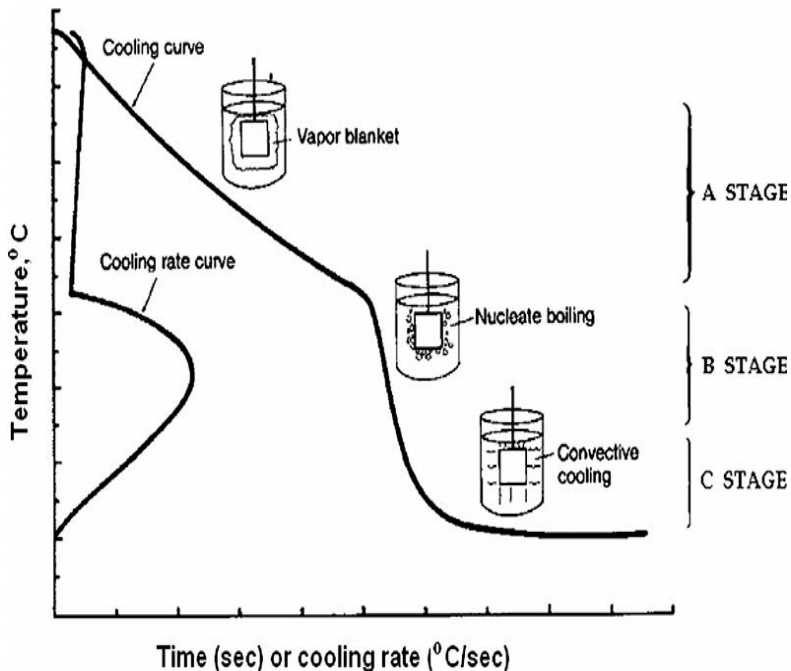
Gambar 2.9 diagram CCT untuk baja AISI 4130 (ASM vol 4, 1991)

Pada gambar 2.9, dapat dilihat bahwa diagram CCT untuk baja AISI 4130 memiliki beberapa keterangan. Pada gambar tersebut terdapat daerah pembentukan suatu struktur seperti ferrit, perlit, bainit dan martensit. Pada daerah Martensit start (M_s), terlihat bahwa garis tersebut tidak stabil dan mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pendinginan.

Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak. Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media *liquid*, seperti pada Gambar 2.9, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling* dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam



benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.

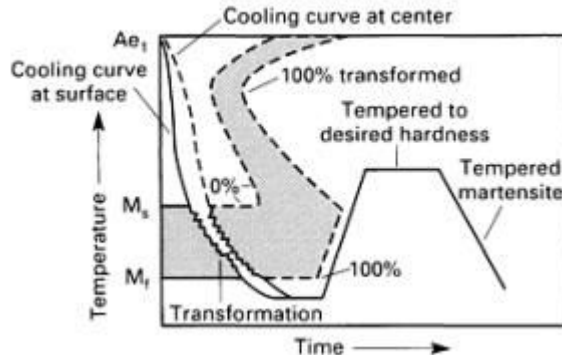


Gambar 2.10 Tiga Tahapan pada *quenching* (Campbell, 2008)



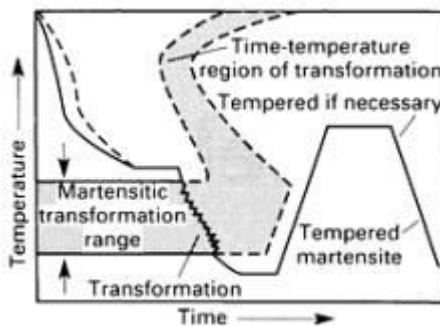
2.9.4 *Tempering*

Tempering merupakan perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan. *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah temperatur kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Fasa yang terbentuk setelah proses *tempering* adalah *tempered martensit*. Fasa tersebut terdiri dari struktur martensit yang telah kehilangan tetragonalitasnya akibat munculnya fasa karbida epsilon karena karbon memiliki energi untuk berdifusi keluar dari struktur martensit. Fasa karbida epsilon merupakan senyawa submikroskopik sebagai tanda awal *tempering* dilakukan pada temperature pada kisaran 100-200°C. Pada temperature ini, senyawa submikroskopik tersebut berupa $\text{Fe}_{2.4}\text{C}$ yang selanjutnya berubah menjadi Fe_3C ketika temperature dinaikan (Avner, 1974) Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (*annealing*) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Proses *tempering* pada umumnya diawali dengan proses *quenching* dan dapat dianalisis dengan menggunakan diagram isothermal transformation (IT) yang telah di-superimpose seperti pada gambar 2.11 ; 2.12 ; 2.13; 2.14



Gambar 2.11. diagram IT yang telah di-*super impose* untuk perlakuan konvensional *quench* dan *temper* (ASM vol 4, 1991)

Pada gambar 4.11 proses tersebut merupakan proses pendinginan konvensional *quench* dan *temper*. Proses tersebut menggunakan metode *direct quenching* hingga temperatur kamar dan diikuti oleh proses tempering.

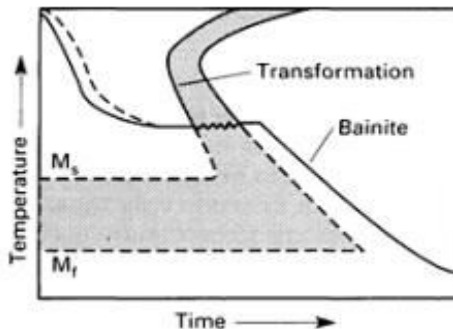


Gambar 2.12. diagram IT yang telah di-*super impose* untuk perlakuan *marquenching* (ASM vol 4, 1991)

Pada gambar 4.12 proses marquenching tersebut diawali dengan pendinginan cepat hingga temperatur di atas martensit start. Kemudian ditahan hingga temperatur surface dan core sama

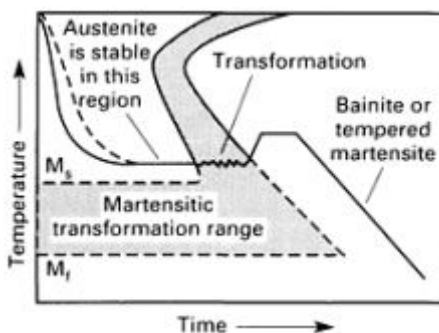


dengan menggunakan salt bath kemudian didinginkan kembali dengan udara dan dilanjutkan dengan proses *tempering*.



Gambar 2.13. diagram IT yang telah di-*super impose* untuk perlakuan *austempering* (ASM vol 4, 1991)

Proses austempering pada gambar 4.13 merupakan proses pendinginan cepat hingga masih pada temperature austenisasi kemudian ditahan hingga melewati garis *transformation finish* sehingga diperoleh struktur bainit. Proses ini biasa diaplikasikan untuk baja karbon menengah dan baja paduan



Gambar 2.14. diagram IT yang telah di-*super impose* untuk perlakuan *isothermal quenching* (ASM vol 4, 1991)



Proses isothermal quenching pada gambar 4.14 dilakukan dengan dua buah media pendingin yang sama namun dengan temperatur yang berbeda. Proses pendinginan dimulai dengan memasukkan spesimen pada media pendingin pertama hingga temperature diatas martensit start. Sebelum melewati garis *transformation finish*, spesimen dipindahkan ke media pendingin yang memiliki temperatur lebih tinggi kemudian di-*holding* untuk beberapa waktu, lalu dilanjutkan dengan pendinginan udara.

2.10 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

- a. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
- b. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
- c. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indenter*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, dan *Knoop*

2.11 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*.



Angka kekerasan piramida intan (*DPH*), atau angka kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. *VHN* dapat ditentukan dari persamaan (2.1) berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{l^2} = \frac{1.845P}{l^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.12 Pengujian Keausan *Pin on Disc*

Saat mesin beroperasi, komponen – komponen mesin akan saling bersinggungan dan mengalami sebuah kontak juga gesekan sesama komponennya, misalkan gesekan piston terhadap dinding silinder di dalam motor bakar. Akibat dari kerja komponen tersebut maka akan timbul pengikisan permukaan komponen atau sering disebut keausan (*wear*). Mekanisme pengujian keausan dapat menggunakan alat *pin-on-disc*. Alat ini digunakan untuk memperhitungkan keausan dan gesekan material komponen tersebut.

Mesin *pin-on-disc* adalah alat uji gesek dan keausan yang terdiri dari *pin* dan *disc*. *Pin* memiliki berbagai bentuk dan ukuran, umumnya berbentuk bola atau silinder batang, sedangkan *disc* berbentuk plat berdiameter dengan tebal tertentu. (Prabowo dkk, 2012). Pada proses pengujian menggunakan *pin-on-disc*, beban yang digunakan dapat divariasikan.

Mekanisme kerja dari pengujian ini adalah dengan menempatkan spesimen uji secara tegak lurus pada piringan *disc* berputar yang terpasang amplas pengabrasi, dan diberikan beban sebagai gaya penekan spesimen. Sebelum dan sesudah pengujian dilakukan penimbangan spesimen uji untuk melihat massa yang hilang saat proses penggerusan.



2.13 Pengamatan Struktur Mikro

Suatu logam mempunyai sifat mekanik yang tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya juga akan berbeda. Hal ini bergantung pada proses pengerjaan dan proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan.

Struktur mikro adalah penggambaran dari kumpulan fase – fase yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop optik. Sebelum pengamatan dengan mikroskop optik, logam yang akan diamati perlu dipersiapkan terlebih dahulu, yaitu:

➤ *Cutting*

Pengambilan bagian sampel yang representatif dengan menggunakan gergaji, plasma bertekanan tinggi, dll.

➤ *Mounting*

Pelapisan sampel logam dengan zat organik seperti resin, untuk mempermudah penanganan sampel selama persiapan metalografi.

➤ *Grinding*

Teknik pemerataan permukaan sampel dengan menggunakan kertas/bahan abrasif. Ukuran abrasif yang digunakan mulai dari 40 sampai 1200 mesh. Untuk menghindari pengaruh temperatur gesekan, *grinding* dilakukan dengan cara basah. Teknik *grinding* dapat dilakukan dengan *hand grinding*, *automatic machine*, atau *lapping*.

➤ *Polishing*

Polishing merupakan tahap terakhir dari perataan permukaan sampel. Sampel yang akan diteliti harus mempunyai permukaan yang rata, bebas goresan, dan tampak seperti cermin.

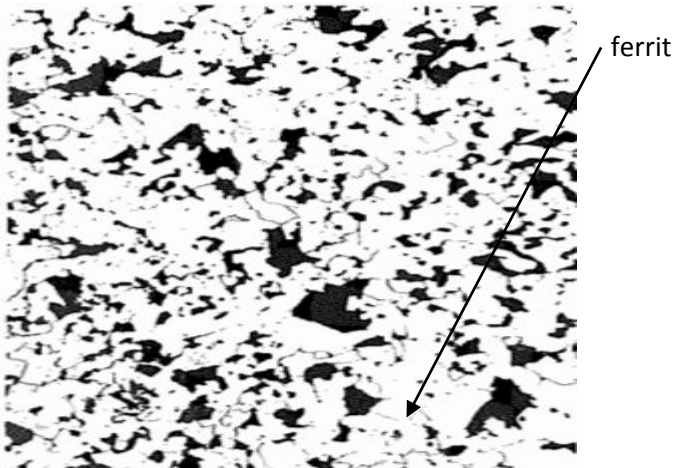
➤ *Etching*

Etching adalah pemberian reagen kimia (etchant) pada permukaan hasil *polishing* untuk menimbulkan penampakan

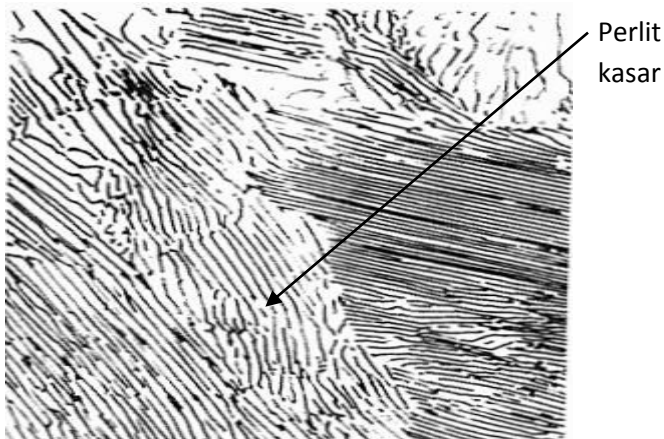


khusus, seperti fasa, batas butir, dislokasi dan struktur mikro tertentu pada gambar 2.15; 2.16; 2.17; 2.18

a.



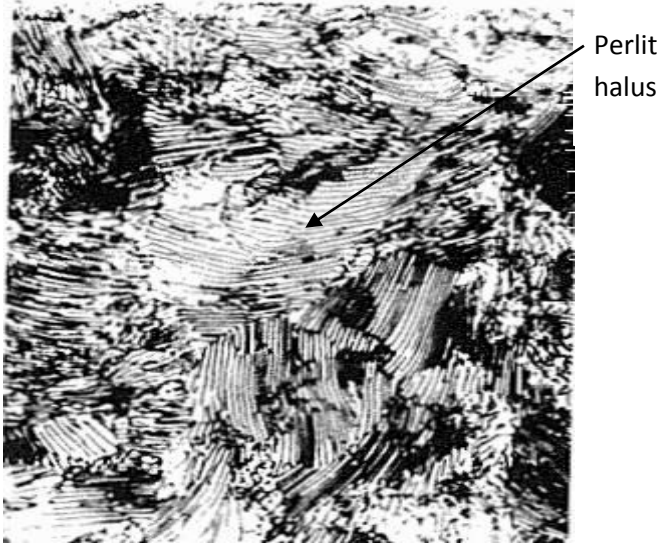
b.



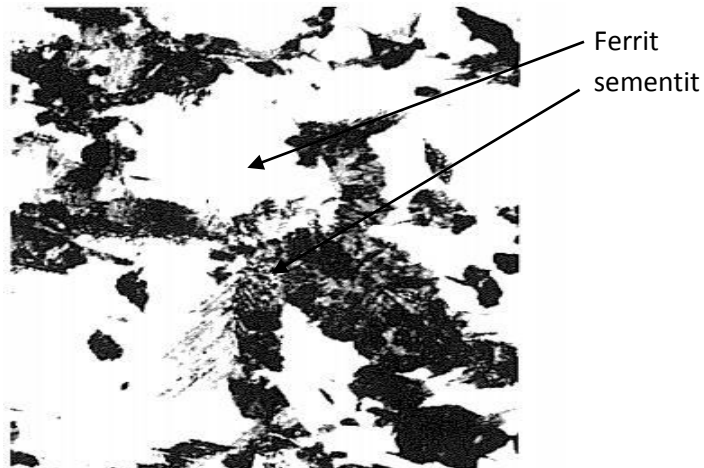
Gambar 2.15 mikrostruktur pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% a. Ferrit (200x) b. Perlit kasar (1500x) (Avner, 1974)



a.



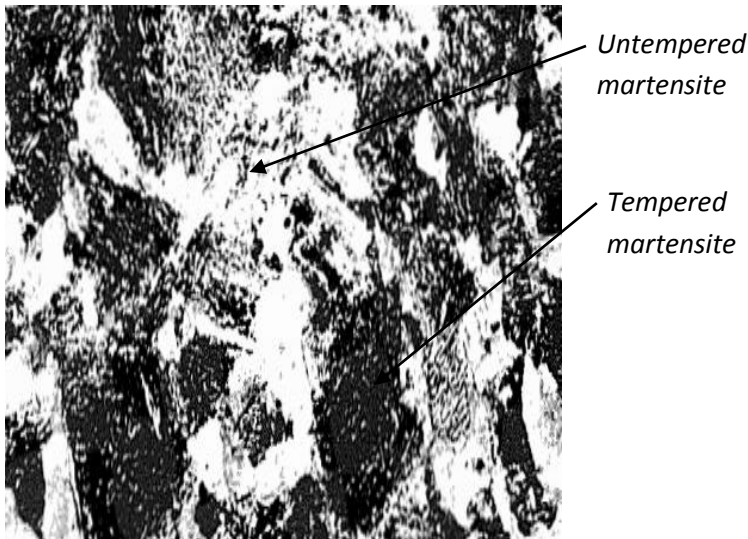
b.



Gambar 2.16 mikrostruktur pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% a. Perlit Halus (1500x) b. Bainit atas (1000x) (Avner, 1974)



Gambar 2.17 mikrostruktur pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% a. Bainit bawah (2500x) b. martensit (1000x) (Avner, 1974)



Gambar 2.18 mikrostruktur tempered martensit (1000x) pada baja karbon rendah dengan etsa nital 4% (Avner, 1974)

2.14 Penelitian Sebelumnya

2.15.1 Studi Kasus Analisa Kegagalan Pada Sambungan Conveyor Chain

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kegagalan pada system rantai melalui karakterisasi dan untuk mengevaluasi serta mengoptimasi system perantaraan pada conveyor. Berikut ini adalah gambar chain link yang mengalami kegagalan dan tabel komposisi dari chain link yang mengalami kegagalan:



Gambar 2.19 Chain link yang mengalami kegagalan (Haris, 2014)

Tabel 2.8 Komposisi dari material Chain Link

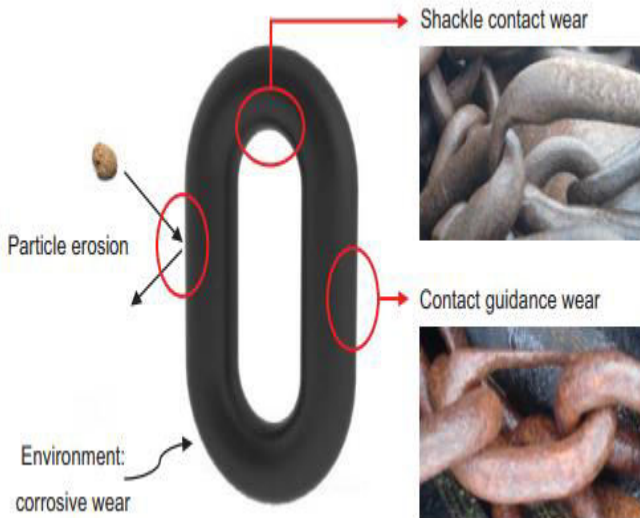
C%	Si%	Mn%	P%	S%	Al%	N%	Nb%	Ti%
0.19	0.23	0.4	0.024	0.015	0.09	0.009	0.04	0.03

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan pada system rantai adalah jenis pengelasan pada joint, cacat pengelasan dan material tersebut tidak diberikan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanik.

(Haris, 2014)

2.15.2 Ketahanan Aus pada Link Chains

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui factor utama penyebab keausan dan untuk menurunkan laju keausan. Untuk mengetahui mekanisme pengausan pada rantai, diberikan gambar 2.11



Gambar 2.20 mekanisme pengausan pada rantai (Steensike, 2011)

Lingkungan kerja dari rantai sangat mempengaruhi laju keausan dari rantai tersebut. Terlebih lagi ketika rantai tersebut berada pada lingkungan yang basah. Berikut adalah tabel pengaruh lingkungan terhadap laju keausan

Tabel 2.9 pengaruh lingkungan terhadap keausan

	Dry circumstances	Wet circumstances Particle size: 7 μ m	Wet circumstances Particle size: 60 μ m
Three- body abrasive wear: sliding and cutting of the particles	Dominant wear type	Rolling of particles due to hydrodynamic lift	Dominant wear type
Friction	High	Reduced by water	Reduced by water
Wear rate	Medium	Low	High



Peneliti melakukan beberapa simulasi dengan specimen agar sesuai dengan fakta kejadian. Pada awalnya peneliti membuat simulasi gelombang dari rantai. Kemudian peneliti melakukan gerakan torsi pada 3 buah rantai dan di simulasiak dengan beberapa gerakan. Pada akhirnya peneliti memberikan pasir sebagai simulasi adanya partikel yang mempengaruhi keausan dari rantai tersebut. Dengan berfokus pada bagian rantai yang melakukan kontak dengan rantai lain, metode ini memiliki potensi yang baik dalam mengatasi kegagalan pada rantai

(Steensike, 2011)

2.15.3 Pengaruh temperatur tempering terhadap sifat mekanik

Peneliti melakukan analisis proses pelakuan panas tempering terhadap kekerasan dan struktur mikro. Variable dari peneliti yaitu temperatur temper dengan temperatur 200 °C, 400 °C, dan 600 °C dengan spesimen SCMnCr 2 dengan komposisi kimia 0.31% C; 0.73% Mn; dan 0.171% Cr. proses austenisasi dilakukan pada temperature 850 °C kemudian didinginkan dengan saltbath. Pada temperatur 200 °C, kekerasan yang dihasilkan adalah 45 Hrc dengan struktur mikro tempered martensit dan sedikit perlit. Pada temperatur tempering 400 °C kekerasan yang dihasilkan adalah tempering 300 Hc dengan mikrostruktur bainit dan perlit. Pada temperature tempering 600 °C diperoleh kekerasan 200 Hc dengan mikrostruktur ferrit dan perlit halus.

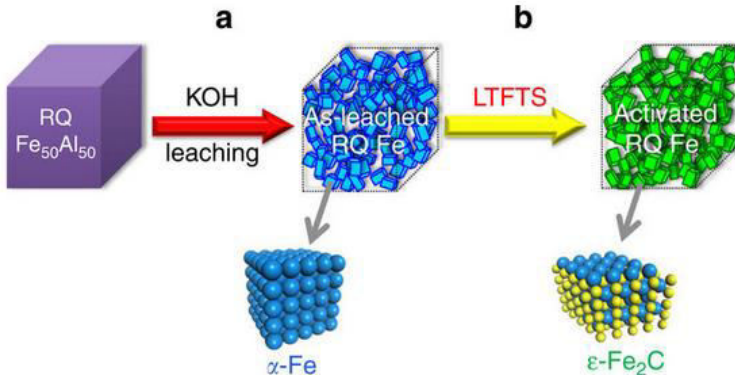
(Yogantoro, 2010)

2.15.4 ϵ -Iron carbide as a low-temperature Fischer–Tropsch synthesis catalyst

low-temperature Fischer–Tropsch synthesis catalyst (LTFTS) merupakan inovasi pada bidang produksi bahan bakar. Namun pada pembuatannya, karbida epsilon sangat sulit karena halangan kinetika. Peneliti melakukan sintesis karbida epsilon dengan menggunakan proses leaching pada material Fe₅₀Al₅₀ ke baja tulangan kemudian didinginkan dengan cepat. Untuk

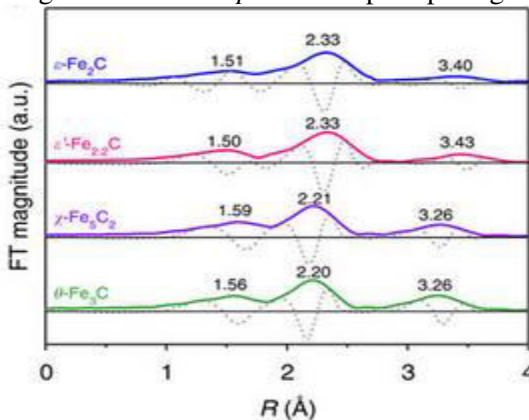


mensintesis karbida epsilon, peneliti memanaskan kembali dalam *batchwise reactor* pada temperature 170°C seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.21 a. *leaching* Fe₅₀Al₅₀ ke baja tulangan b. aktivasi LTFTS untuk membentuk karbida epsilon (Ohmori, 1991)

Setelah melakukan aktivasi kemudian dilakukan analisa dengan *Mössbauer spectrum* seperti pada gambar 2.19.



Gambar 2.22 analisa spesimen menggunakan *Mössbauer spectrum* (Ohmori, 1991)



Dengan menggunakan *Mössbauer* spektroskopi, perbedaan antara karbida yang terbentuk dalam proses pemanasan kembali pada spesimen.

(Ohmori, 1991)

2.15.5 Epsilon Carbide Precipitation during tempering of Plain Carbon Steel

Peneliti melakukan analisa terhadap karbida epsilon pada baja dengan kadar 0.69 %C dan 0.3%C. proses perlakuan panas yang dilakukan adalah pemanasan hingga temperature 1000°C menggunakan argon sebagai gas atmosfer inert dengan waktu tahan 10 menit, kemudian dilakukan pendinginan cepat dengan menggunakan brine. Setelah melalui proses hardening, spesimen tersebut ditemper pada temperatur 250°C. kemudian dipreparasi menjadi lembaran tipis untuk pengujian transmission electron microscop (TEM). Hasilnya pada tahap awal tempering, ditemukan karbida epsilon yang sangat halus pada struktur martensit. Bentuk morfologi ini kemudian dinamakan *cross hatched epsilon carbide needle* . pada tahap akhir, karbida epsilon mengalami perubahan arah kristalisasi dan tetragonalitas martensit telah hilang sepenuhnya.

(Xu, 2017)

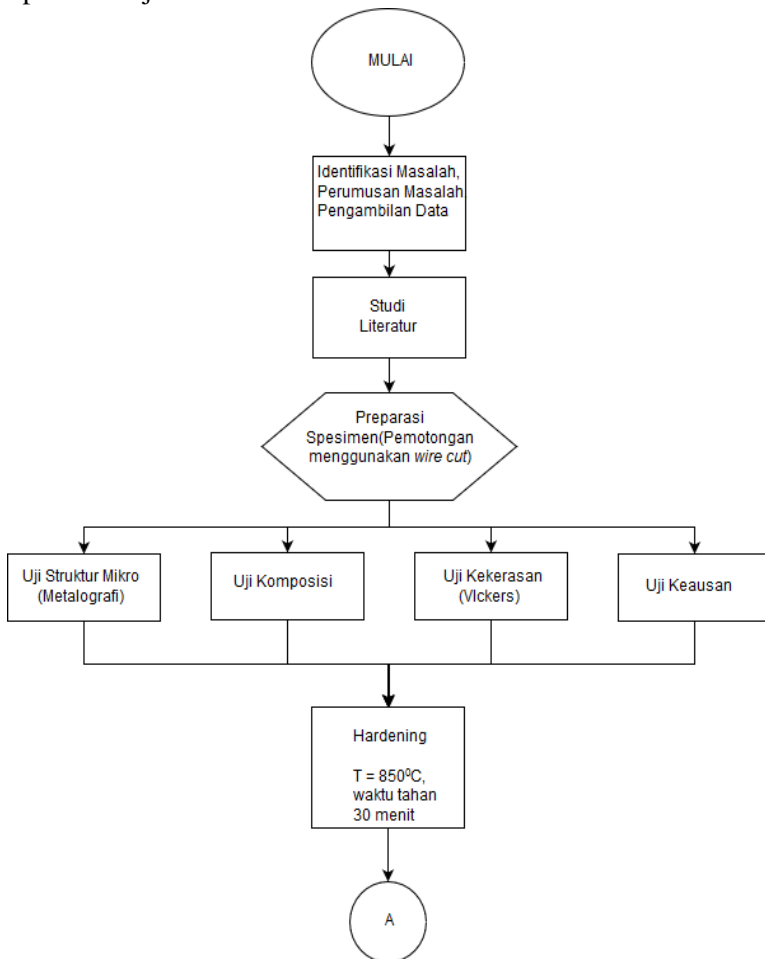


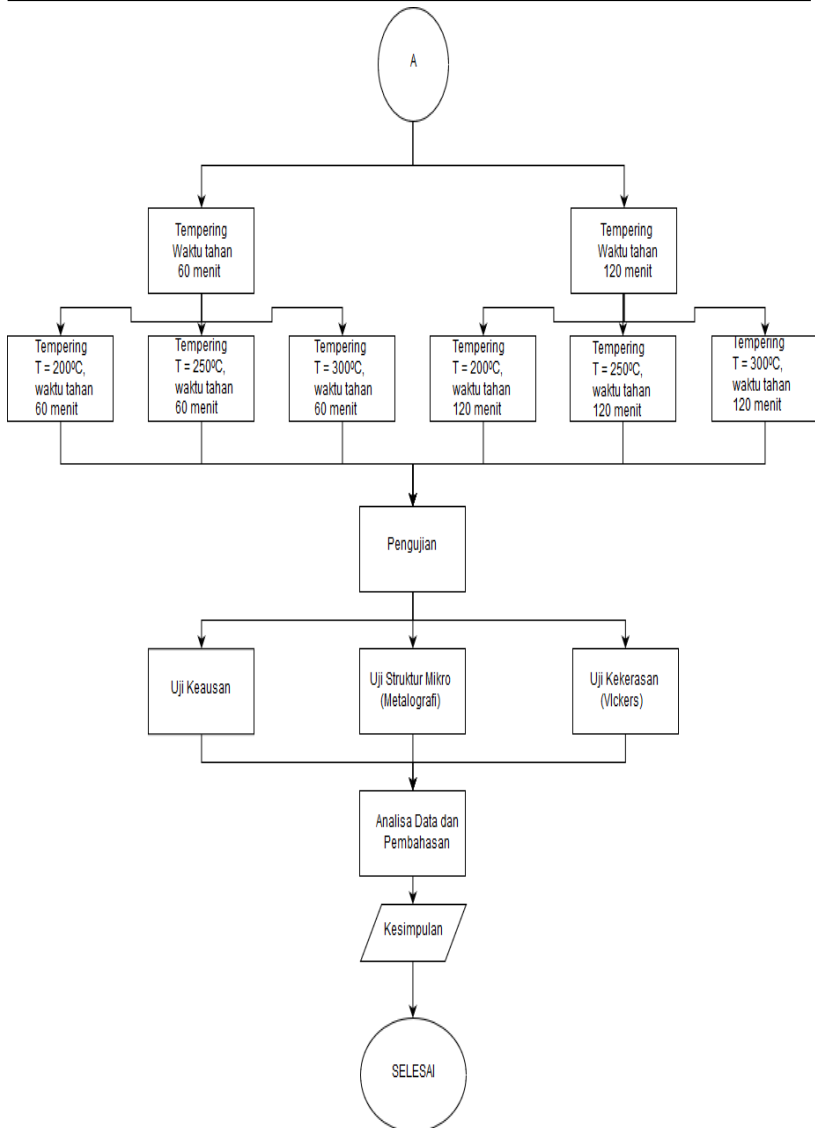
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literature. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang telah diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia yang ahli dibidangnya.
2. Studi Literatur Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan pada *Chain shackles*.
3. Pengujian Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : pengamatan bentuk aus dengan foto, Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer dan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *Chain shackles*.

3.3 Material yang digunakan

Pada tanggal 7 September 2017 ditemukan *Chain shackles* pada *Elevator System Finish Mill* Pabrik Tuban 3 mengalami crack yang diperlihatkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Material *Chain shackle* yang mengalami keausan

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan material *chain shackle* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1



Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Chain shackle*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
%	0.300	0.250	0.750	0.020	0.020	0.240	0.040	0.015

3.4 Peralatan

Peralatan yang telah digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Mesin *Wire Cut*

Digunakan untuk memotong material



Gambar 3.3 Mesin Wire Cut



2. Mesin OES (*Optical Emmision Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material yang diujikan



Gambar 3.4 Mesin OES (*Optical Emmision Spectroscopy*)

3. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari specimen



Gambar 3.5 Mesin uji kekerasan



4. Larutan Etsa Nital

Digunakan untuk preparasi pengujian struktur mikro

74a: Nital terdiri dari 1-5 mL HNO_3 + 100 mL ethanol (95%)

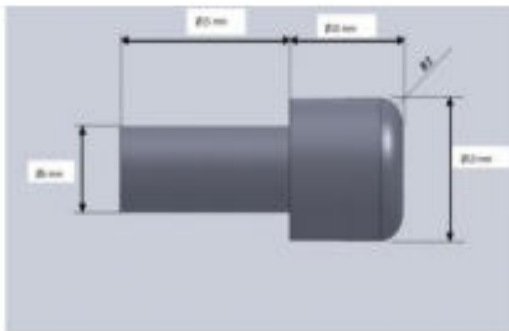
5. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material

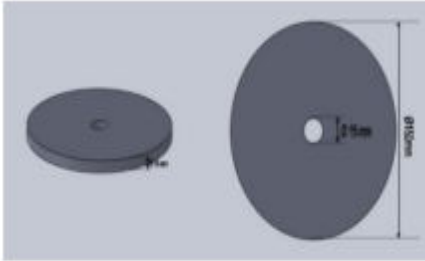


Gambar 3.6 Mikroskop Optik

6. Peralatan Uji Keausan



A



B

Gambar 3.7 A. desain *pin*, B. desain *disk*

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Penelitan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *Chain shackles* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

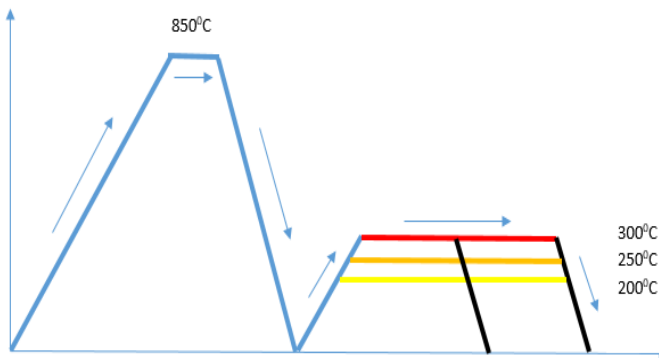
1. Desain *Chain shackles* (*manual book*)
2. Data operasi
3. Spesifikasi material

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan *Chain shackles* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses cutting dan sectioning. Proses pemotongan dilakukan pada bagian tengah dan ujung pada *Chain shackles* yang terindikasi adanya beban siklik dan bagian yang jauh dari aus. Spesimen yang terindikasi adanya beban siklik serta bagian yang jauh dari aus akan diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah aus/gagal.

3.5.3 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang telah dilakukan adalah proses *hardening* dengan temperatur 850°C dan waktu tahan 30 menit. Setelah melakukan proses *hardening*, spesimen telah diberi perlakuan *tempering* dengan dua variabel waktu tahan yang berbeda yaitu 60 dan 120 menit. Masing – masing variabel waktu tahan yang berbeda akan di *tempering* dengan tiga variabel temperatur yang berbeda yaitu 200°C , 250°C , 300°C .



Gambar 3.8 Kurva Perlakuan panas spesimen

3.5.4 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia berfungsi untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *optical emission spectroscopy* di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya untuk mengetahui komposisi dari *chain shackle*.

3.5.5 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro telah dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera



dan digital Adapun perlakuan terhadap sampel material adalah dengan melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.



Gambar 3.9 Kamera SLR Canon

3.5.6 Uji Kekerasan

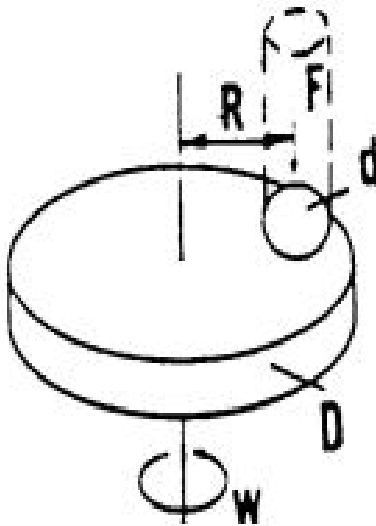
Pengujian kekerasan telah dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material, ITS.



Gambar 3.10 Mesin uji kekerasan

3.5.7 Uji Keausan

Uji keausan telah dilakukan dengan menggunakan mesin pin on disc standar ASTM G99 dengan memberikan beban tertentu pada specimen. Pada awalnya specimen diukur ketebalan dan massanya. Setelah itu dilakukan pengausan pada wear track dengan jumlah 1000 putaran dengan tingkat kekasaran amplas grade 80 dan beban 1Kg. Setelah proses berakhir, dilakukan pengukuran massa dan tebal sehingga didapatkan selisih massa dan ketebalan



Gambar 3.11 Mesin Pin on Disc



3.6 Rancangan Penelitian

Jenis perlakuan yang telah dilakukan selama penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Materia l	Temper atur (°C)	Wak tu Taha n (Me nit)	Uji kompo sisi	Uji Metalog rafi	Uji Keker asan	Uji Keau san
N	-	-	V	V	V	V
HT200t 60	200	60	-	V	V	V
HT250t 60	250	60	-	V	V	V
HT300t 60	300	60	-	V	V	V
HT200t 120	200	120	-	V	V	V
HT250t 120	250	120	-	V	V	V
HT300t 120	300	120	-	V	V	V



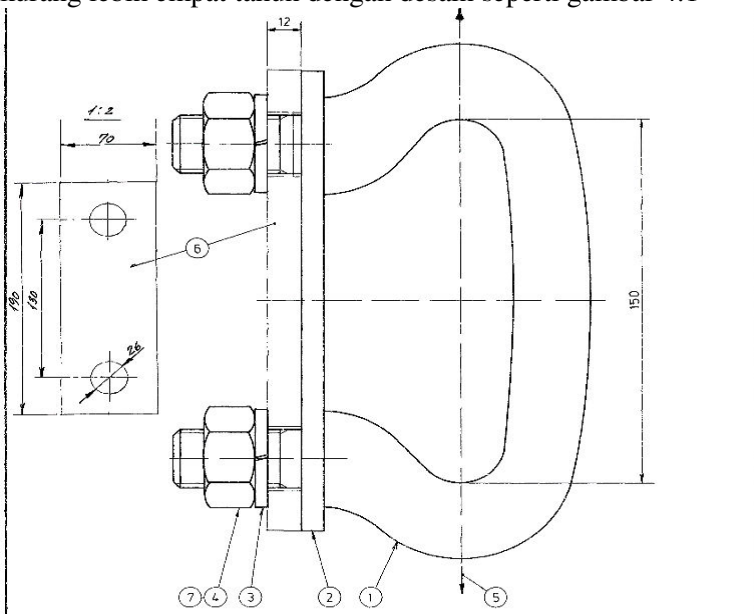
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengujian

4.1.1 Data Material

Pada saat inspeksi berkala yang telah dilakukan oleh PT Semen (Persero) Tbk yang telah dilakukan pada 31 Juli 2017 didapatkan bahwa pada *finish mill* 9 dengan nama *plant OK mill* telah mengalami kegagalan pada bagian *chain shackle*. Pada material *chain shackle* telah terjadi keausan pada bagian yang bersinggungan dengan *chain links*. *Chain shackle* yang digunakan merupakan produk dari luar negeri dan telah terpasang selama kurang lebih empat tahun dengan desain seperti gambar 4.1



Gambar 4.1 Material *Chain shackle* pada *bucket elevator*



Pada gambar 4.1 terdapat nomor yang dijelaskan dalam tabel di bawah ini

Tabel 4.1 Keterangan gambar *Chain shackle*

no	keterangan gambar	data
1	jumlah <i>chain shackle</i>	1 buah (berat 2,06kg)
2	pelat	1 buah (berat 0.78kg)
3	<i>ring</i>	2 buah (berat 0.05kg)
4	baut	2 buah (berat 0.22kg)
5	pengujian tarik	<i>test force</i> = 212 kN
		<i>tensile force</i> = 340 kN
		<i>Utility Load</i> = 28 kN
6	jarak	untuk <i>tensile test</i> (tertera di gambar)
7	torsi	315 Nm

Berikut ini adalah data-data dari bucket elevator yang berhubungan dengan *chain shackle* dan kondisi lingkungan kerja ditampilkan pada Tabel 4.2.

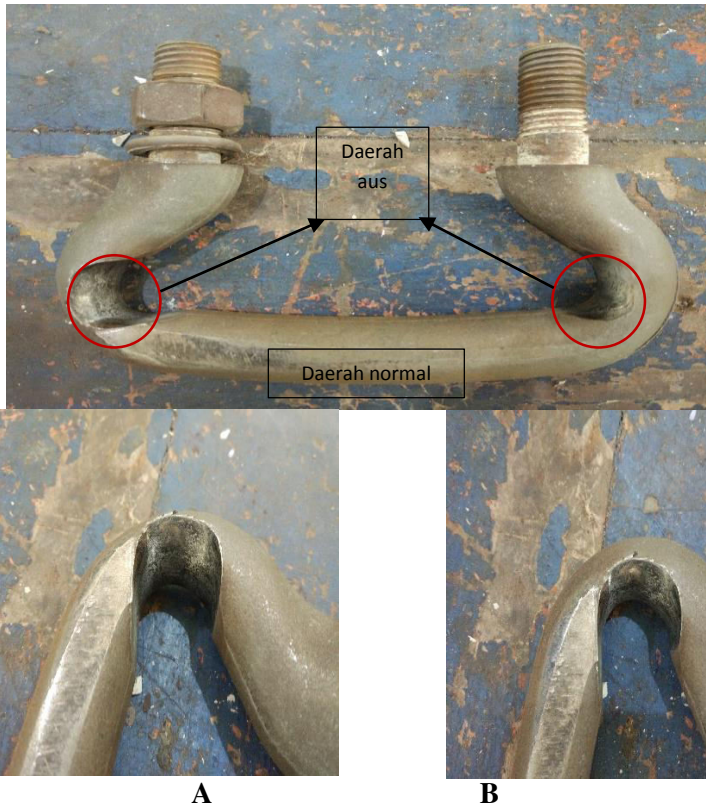
Tabel 4.2 Record material *chain shackle*

<i>Record</i>	Keterangan
Kapasitas <i>Bucket</i>	250 Ton/jam
Temperatur	30°C
<i>Running Time</i>	24/7
<i>Lifetime</i> (asumsi)	4 tahun

4.1.2 Pengamatan Hasil Makro *Chain shackle*

Berdasarkan hasil pengamatan visual dengan kamera secara makro pada daerah *chain shackle* yang telah mengalami keausan. Terlihat pada gambar 4.2 telah terjadi keausan pada

bagian *chain shackle* telah terjadi pengurangan dimensi dengan tebal mula-mula sebesar 37mm dan tebal akhir sebesar 19 mm sehingga terjadi pengurangan 18mm pada bagian kanan material *chain shackle*. Untuk bagian kiri, tebal mula-mula sebesar 37mm dan setelah mengalami keausan memiliki tebal akhir sebesar 23mm karena telah kehilangan 14mm selama proses pengausan terjadi. Berdasarkan pengamatan visual, masih belum terjadi *crack* pada material *chain shackle* tersebut.



Gambar 4.2 Material *Chain shackle* yang mengalami keausan : A. Bagian kiri, B. Bagian kanan



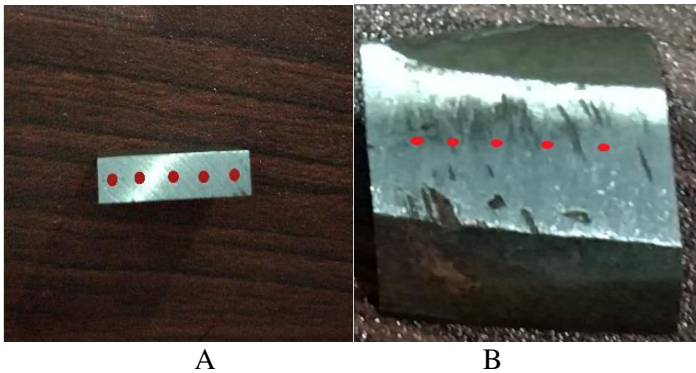
4.1.3 Pengujian Komposisi Kimia pada *Chain shackle*

Pengujian komposisi kimia pada komponen *Chain shackle* menggunakan alat OES (*Optimical Emission Spectroscopy*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia pada komponen *Chain shackle*. Hasil pengujian komposisi kimia terdapat pada BAB 3 tentang material yang digunakan.

Berdasarkan ASTM A973, Pemilihan dan jumlah paduan elemen tergantung dari produsen atau permintaan konsumen. Kandungan unsur yang tertera dalam baja tersebut paling tidak memiliki: karbon = 0.35% max; fosfor = 0,025% maks; belerang = 0,025% maks. Unsur berikut semua harus hadir dalam jumlah paduan, nikel (0.40% min), kromium (0,40% min), dan molibdenum (0,15% min) sehingga dapat menghasilkan Chain dengan grade yang baik.

4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan pada *Chain shackle*

Pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari komponen *Chain shackle* yang mengalami kegagalan. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*, dengan metode vickers. Beban yang digunakan 100 kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian dilakukan pada 5 titik pada setiap spesimen seperti pada Gambar 4.3 dengan hasil kekerasan yang diperoleh pada tabel 4.3.



Gambar 4.3 Pembagian daerah indentasi : A. Dekat dari Aus B. Jauh dari aus

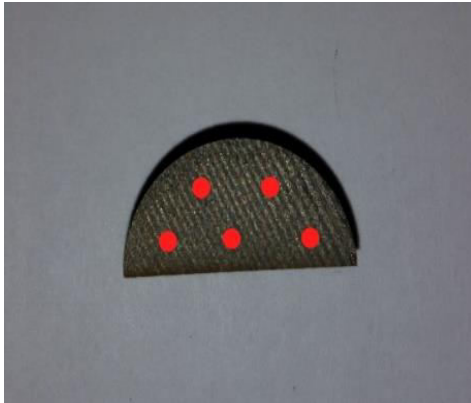
Tabel 4.3 Hasil Pengujian kekerasan Material *Chain shackle* yang gagal

Titik indentasi	kekerasan (HV)	
	Daerah jauh dari keausan	Daerah dekat dengan keausan
1	267	278
2	271	276
3	253	269
4	260	272
5	275	270
Rata-rata	265.2	273

Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 265.7 HV untuk daerah yang jauh dari keausan sedangkan daerah yang dekat dengan keausan memiliki kekerasan rata-rata sebesar 273 HV. Nilai kekerasan *Chain shackle* seharusnya berada pada kisaran 600 HV sesuai dengan DIN 745. Sehingga perbedaannya sangat jauh bila dibandingkan dengan



standar. Tidak terjadi perubahan kekerasan yang signifikan pada daerah dekat dengan keausan.



Gambar 4.4 Daerah Indentasi Uji Kekerasan pada spesimen yang telah melewati proses *hardening* dan *tempering*

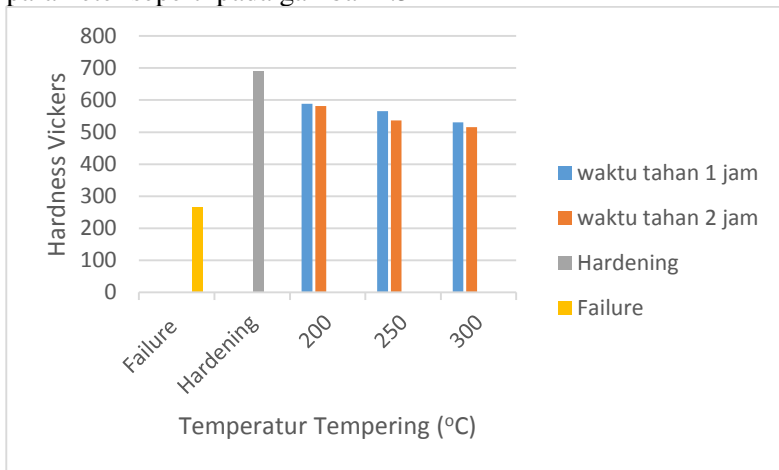
Perlakuan panas berupa *hardening* dan *tempering*. Uji kekerasan dilakukan pada lima titik pada setiap spesimen seperti pada gambar 4.4. Hasil uji kekerasan sebelum di *hardening* dan *tempering* ditampilkan pada Tabel 4.3 Dapat dilihat pada tabel 4.3, kekerasan awal dari material *chain shackle* tanpa perlakuan adalah 265.2 HV (asumsi menggunakan spesimen yang jauh dari daerah aus). Setelah di *hardening* pada temperatur 850°C dan waktu tahan 30 menit, kekerasan yang didapatkan adalah sebesar 689.6 HV. Setelah di *tempering* didapatkan nilai kekerasan terbesar adalah pada *tempering* dengan temperatur 200°C dengan waktu tahan 60 menit ataupun 120 menit. Setelah mengalami proses *tempering* nilai kekerasan dari keenam spesimen menurun seperti yang tertera pada tabel 4.4 dan grafik pada gambar 4.5



Tabel 4.4 Hasil Kekerasan Material *Chain shackle* setelah *tempering*

Material	Temperatur (°C)	Waktu Tahan (Menit)	Kekerasan (HV)
HT200t60	200	60	588
HT250t60	250	60	565.4
HT300t60	300	60	530.8
HT200t120	200	120	581.4
HT250t120	250	120	536.6
HT300t120	300	120	515.6
<i>Hardening</i>	-	-	689.6

Dari data tabel 4.4, kemudian di plot dalam suatu grafik untuk membandingkan kekerasan pada spesimen pada setiap parameter seperti pada gambar 4.5



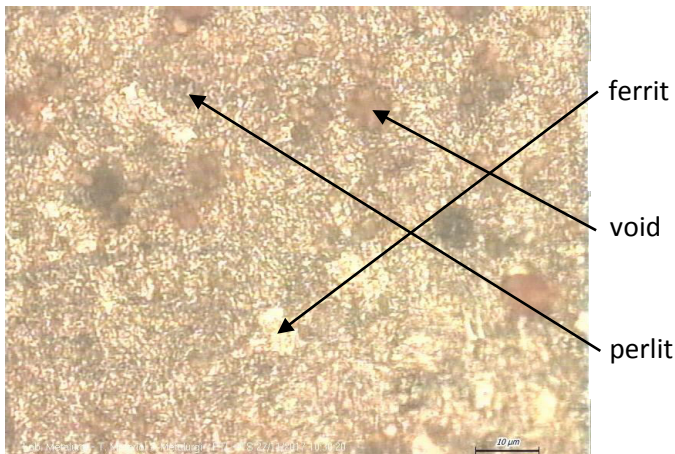
Gambar 4.5 Perbandingan kekerasan spesimen

4.1.5 Hasil Pengujian Metalografi pada *Chain shackle*

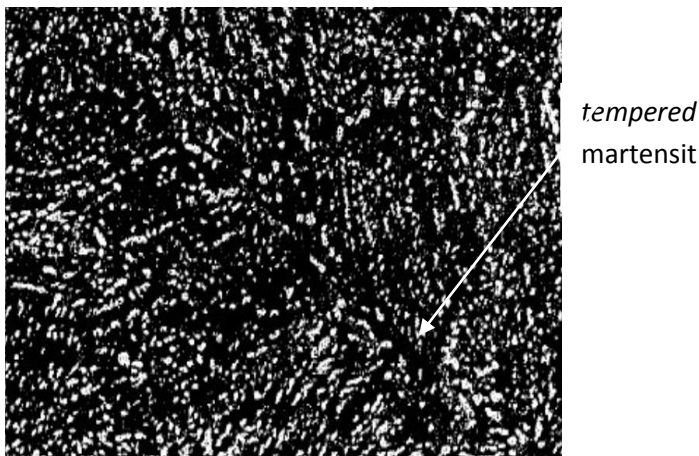
Pengujian struktur mikro atau metalografi pada *Chain shackle* yang mengalami kegagalan dilakukan untuk mengetahui struktur awal yang terbentuk pada material tersebut sebelum dilakukan perlakuan panas, serta struktur awal pada saat material



mengalami kegagalan. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x. Struktur mikro pada AISI 1030 yang terlihat pada Gambar 4.6 akan dibandingkan dengan struktur mikro AISI 1045 yang telah di *harden-temper* yang merupakan standar dari *chain shackle*, ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.6 Struktur Mikro *Chain shackle* dengan etsa nital 4% dan perbesaran 1000x

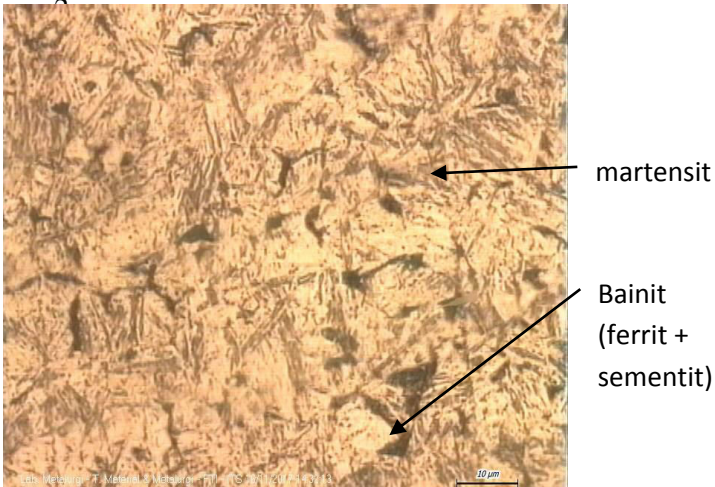


Gambar 4.7 Struktur Mikro AISI 1045 *Hardening* dan *Tempering* dengan etsa nital dan perbesaran 3000x (steeldata, 1999)

Pengujian struktur mikro telah dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan fasa yang telah terbentuk setelah proses *hardening* dan *tempering* dengan variasi temperature dan waktu tahan *tempering*. Dengan adanya struktur mikro , dapat diketahui perbedaan struktur mikro pada material sebelum diberi pelakuan dan setelahnya. Hasil proses *hardening* ditunjukkan pada gambar 4.8. sedangkan hasil proses *hardening* dan *tempering* ditunjukkan pada gambar 4.9; 4.10; 4.11



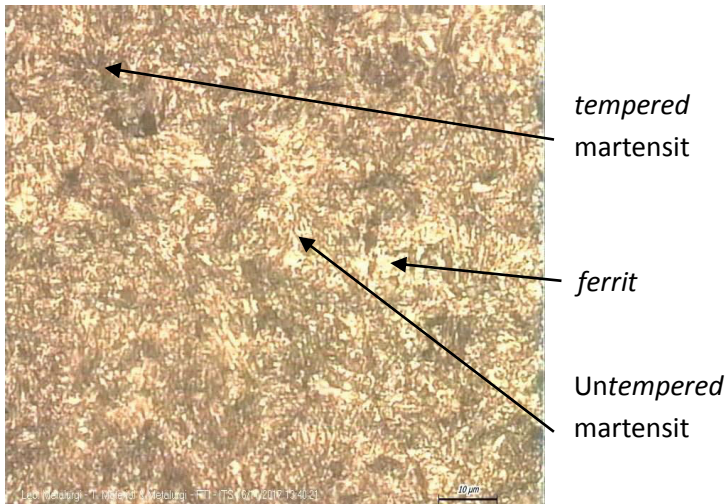
1. Struktur mikro setelah *hardening*



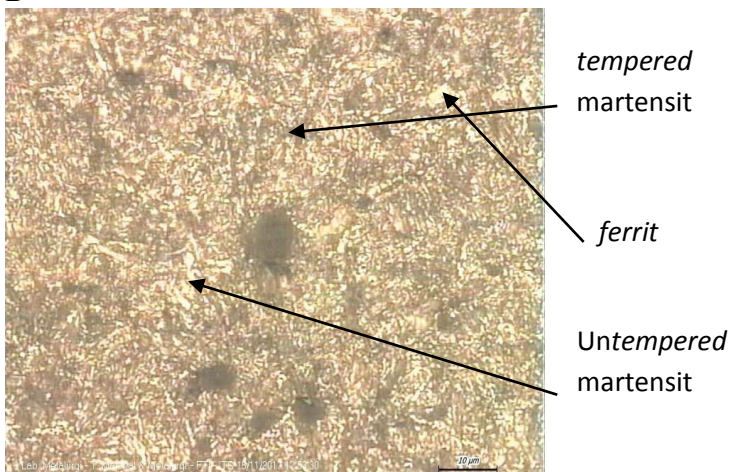
Gambar 4.8 struktur mikro material *chain shackle* setelah di-*hardening* dengan temperature austenisasi 850 °C dan waktu tahan 30 menit *waterquenched* dengan etsa nital 4% dan perbesaran 1000x

3. Struktur mikro setelah *hardening* dan *tempering*

A



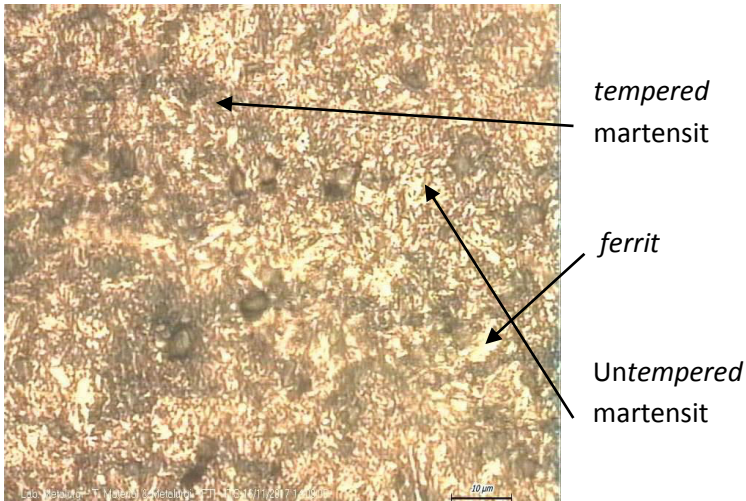
B



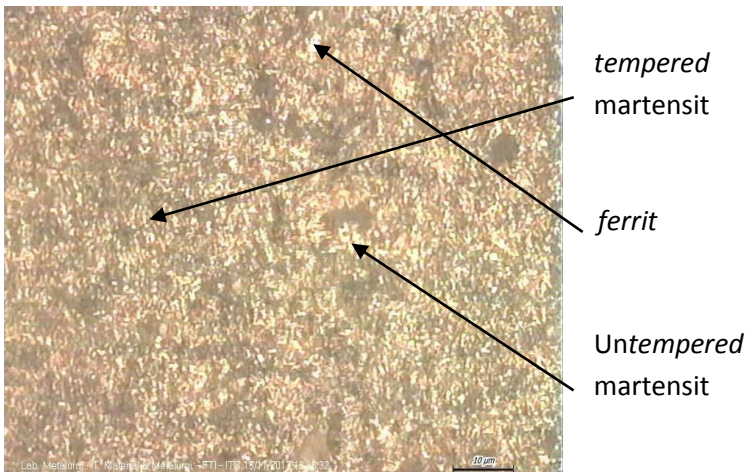
Gambar 4.9 struktur mikro material *chain shackle* dengan temperature *tempering* 200°C dan waktu tahan *tempering* A.1 jam dan B. 2 jam dengan etsa natil 4% dan perbesaran 1000x



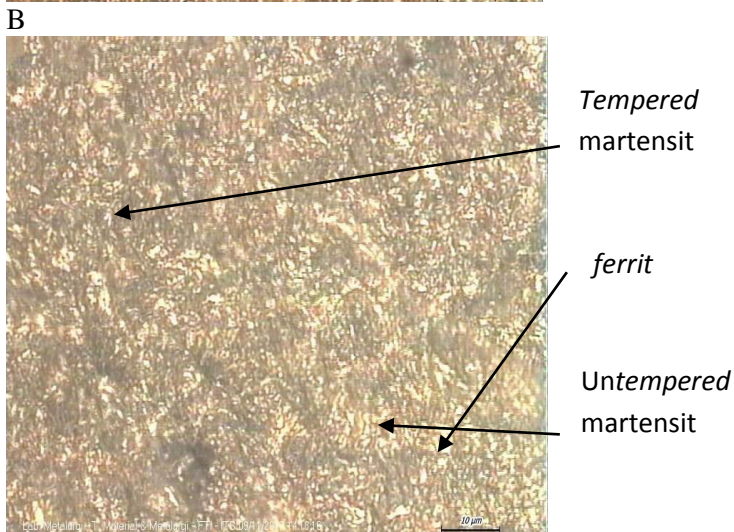
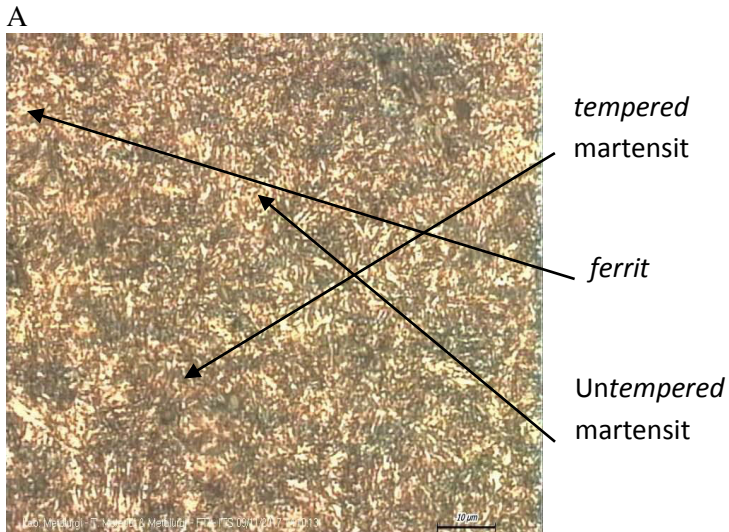
A



B



Gambar 4.10 struktur mikro material *chain shackle* dengan temperature *tempering* 250°C dan waktu tahan *tempering* A.1 jam dan B. 2 jam dengan etsa natil 4% dan perbesaran 1000x



Gambar 4.11 struktur mikro material *chain shackle* dengan temperature *tempering* 300°C dan waktu tahan *tempering* A.1 jam dan B. 2 jam dengan etsa nital 4% dan perbesaran 1000x



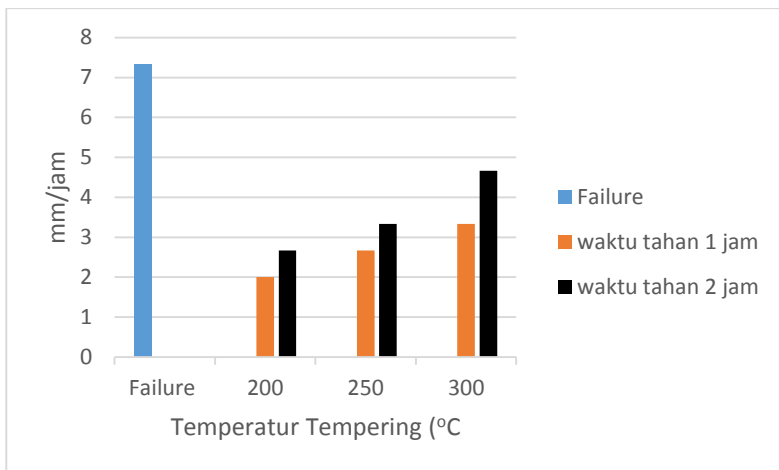
4.1.6 hasil pengujian keausan pada *Chain shackle*

Hasil pengujian laju keausan pada spesimen yang telah diberikan perlakuan panas ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 rata-rata hasil pengujian keausan pada material yang di-*hardening* dan *tempering*

Material	Pengurangan ketebalan (mm)	Keausan (mm)/waktu(jam)
HT200t60	0.1	2
HT250t60	0.13	2.67
HT300t60	0.16	3.33
HT200t120	0.13	2.67
HT250t120	0.16	3.33
HT300t120	0.3	4.67
Tanpa Perlakuan	0.36	7.33

Dari data tabel 4.5, kemudian di plot dalam suatu grafik untuk membandingkan laju keausan pada spesimen seperti pada gambar 4.12



Gambar 4.12 grafik laju keausan spesimen



Pada tabel 4.5 menunjukan bahwa hasil laju keausan pada material *chain shackle*. Bila dibandingkan, laju keausan bertambah dengan meningkatnya temperature *tempering*. Untuk variable waktu tahan *tempering*, bila dibandingkan antara satu dan dua jam, laju keausan lebih tinggi dengan waktu tahan *tempering* yang lebih lama. Laju keausan paling rendah dimiliki oleh spesimen yang diberi perlakuan panas dengan temperature *tempering* 200°C dan waktu tahan *tempering* 1 jam dengan laju keausan 2mm/jam. Sedangkan dari keenam parameter, yang memiliki laju keausan tertinggi diperoleh pada spesimen yang diberi perlakuan panas dengan temperature *tempering* 300°C dan waktu tahan *tempering* 2 jam dengan laju keausan 4.67mm/jam. Hasil pengujian telah di plot kedalam grafik pada gambar 4.12

4.2 Pembahasan

Setelah melakukan beberapa pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, pada umumnya terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kegagalan pada material yaitu kesalahan dalam pemilihan material. Hal tersebut dapat ditinjau berdasarkan komposisi dan kekerasan pada permukaan, serta struktur mikro yang terdapat pada material yang gagal tersebut.

Material standar yang digunakan untuk *chain shackle* ini adalah baja aisi 1045 dengan komposisi sesuai dengan ASTM A29 dan telah diberi perlakuan *hardening* dan *tempering*. Sedangkan berdasarkan hasil uji komposisi *optical emission spectroscopy* (OES). Material yang didapat tidak sesuai dengan standar untuk aplikasi *chain shackle*. Dari segi kadar karbon, spesimen *chain shackle* memiliki kadar karbon (C) yang lebih rendah bila dibandingkan dengan standar material *chain shackle* DIN 745, sehingga dari segi kekerasan masih tidak sesuai dengan standar yang seharusnya 600 HV. Selain itu, material *chain shackle* dari PT. Semen Indonesia Tbk memiliki paduan seperti Cr dan Mo yang tidak sesuai dengan standar sehingga kemampuan untuk dikeraskannya rendah. Gesekan yang dihasilkan oleh *chainlink* dan



chain shackle membuat material tersebut mengalami keausan hingga hampir kehilangan setengah diameternya dan membuat material tersebut memiliki *internal stress* yang tinggi. Dari segi *chainlink* sendiri tidak mengalami masalah keausan sehingga dapat disimpulkan kesalahan pemilihan material berada pada *chain shackle*. Berdasarkan data fakta diatas, lifetime dari *chain shackle* harusnya bisa lebih dari empat tahun (asumsi maksimal).

Berdasarkan hasil pengamatan strukturmikro, diketahui bahwa struktur mikro awal material *chain shackle* yang terbentuk sebelum spesimen tersebut diberikan perlakuan panas menunjukkan fasa ferrit dan perlit yang merupakan struktur mikro dari baja hypoeutektoid (Avner, 1974). Sedangkan seharusnya struktur mikro dari *chain shackle* harusnya berupa hasil dari *hardening* dan *tempering* yaitu berupa *tempered martensite* (ASTM, A973). *Tempered martensit* menghasilkan material yang keras namun memiliki ketangguhan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan fasa martensit. Dari hasil fasa yang diperoleh pada material *chain shackle* PT. Semen Indonesia Tbk sangat jauh dari material standar *chain shackle*.

Setelah diberi perlakuan panas berupa *hardening* dengan temperature 850°C dengan waktu tahan 30 menit dan media pendingin air. Struktur mikro yang diperoleh adalah martensit. Jenis martensit yang terbentuk adalah *lath martensit* dan bainit bawah. *Lath martensit* terbentuk pada *hardening* baja karbon dengan komposisi di bawah 0.6% (Sandvik, 1983). Sedangkan bainit bawah yang merupakan agregat dari ferrite dan cementite (Fe_3C) terbentuk pada kecepatan pendinginan sedang dimana pada kondisi ini karbon sulit berdifusi kedalam fasa austenite (Aisyah, 2011). Kemudian diberikan perlakuan temper dimana perubahan besar terjadi pada martensit pada saat diberi perlakuan tersebut adalah difusi karbon ke batas butir untuk melepas tegangan sisa dan presipitasi karbida epsilon sebagai dampak dari difusi karbon (E.I Galindo-Nava, 2015). Kekerasan spesimen menurun setelah *ditemper* dikarenakan *tempering* bertujuan untuk mengembalikan sebagian keuletan/ketangguhan, berakibat turunnya kekerasan, dan



melepas tegangan dalam untuk memperoleh keuletan yang lebih baik. (Prasetya, 2017). Dengan parameter yang ada, spesimen yang memiliki kekerasan paling tinggi adalah spesimen dengan kode HT200T60. Hal tersebut dikarenakan fasa yang terbentuk berupa *tempered* martensit dengan ukuran yang lebih besar dan tidak terjadi perubahan pada ferit (Xu, 2017). Pada spesimen tersebut, karbida epsilon yang terbentuk masih sangat sedikit namun terjadi penurunan kekerasan yang cukup signifikan dibandingkan dengan spesimen yang hanya dilakukan proses *hardening* water-quenched. Spesimen diatas memiliki kekerasan yang tinggi karena temperature *tempering* berturut-turut rendah dan cepat sehingga dekomposisi martensit masih belum terjadi. Fasa karbida epsilon merupakan senyawa submikroskopik sebagai tanda awal *tempering* dilakukan pada temperature pada kisaran 100-200°C. Pada temperature ini, senyawa submikroskopik tersebut berupa $\text{Fe}_{2.4}\text{C}$ yang selanjutnya berubah menjadi Fe_3C ketika temperature dinaikan (Avner, 1974). Penambahan temperatur dan waktu tahan *tempering* telah menyebabkan penurunan kekerasan dan kekuatan, namun telah meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Dari hasil pengujian, spesimen yang memiliki kekerasan paling rendah yaitu spesimen dengan kode HT300T120 dengan fasa *tempered* martensit, ferit, dan sedikit perlit. Pada temperature ini terjadi perubahan signifikan pada fasa *tempered* martensit yaitu pada spesimen ini, martensit yang diperoleh sudah tidak tajam dan tidak kontinyu dan mulai terjadi pembentukan ferrit dan perlit sehingga diperoleh peningkatan keuletan (Xu, 2017) sekaligus menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan. Akumulasi karbida epsilon membentuk sementit ketika temperature dinaikan sehingga kekerasan tidak sebanding dengan spesimen HT200T60 (Sekhar dan Schreiner, 1971). Setiap spesimen tidak menunjukkan adanya bentuk dari fasa karbida karena terdapat unsur silicon dalam material *chain shackle*. Silicon tidak dapat larut dalam sementit pada proses awal *tempering* sehingga menyebabkan senyawa karbida terbentuk memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan tanpa paduan silicon (Maherios, 2017).



Berdasarkan data yang diperoleh dari uji kekerasan setelah spesimen diberikan perlakuan panas berupa *harden-temper* dengan temperature *tempering* 200°C, 250°C dan 300°C dengan waktu tahan *tempering* satu jam dan dua jam telah diperoleh hasil kekerasan. Spesimen pada daerah yang jauh dari daerah keausan memiliki kekerasan sebesar 265.2 HV. Sedangkan pada daerah yang dekat dengan daerah keausan memiliki kekerasan sebesar 273 HV. Kemudian pada daerah material yang mengalami keausan memiliki kekerasan sebesar 279.2 HV. Setelah dilakukan perlakuan panas spesimen dengan kode HT200T60 menghasilkan kekerasan yang paling tinggi yaitu 588 HV. Kemudian dilanjutkan dengan spesimen dengan kode HT200T120 dengan kekerasan 581.4 HV. Spesimen dengan kode HT250T60 dan kode HT250T120 memiliki kekerasan berturut-turut sebesar 565.4 HV dan 536.6 HV. Spesimen dengan kekerasan terendah dimiliki oleh kode HT300T60 dengan kekerasan 530.8 HV dan HT300T60 dengan kekerasan 515.6 HV. Semua spesimen mengalami penurunan kekerasan setelah dilakukan proses *tempering* dengan parameter yang berbeda-beda bila dibandingkan dengan spesimen yang mengalami proses *hardening* saja yaitu memiliki kekerasan 686.6 HV. Hal ini terjadi karena pendinginan non-ekuilibrium atau pendinginan sangat cepat dapat meningkatkan nilai kekerasan suatu material dan kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan air sebagai media pendinginnya. (Septianto, 2015). Sedangkan perlakuan *tempering* memberikan penurunan kekerasan ketika terjadi kenaikan temperatur *tempering* karena pembentukan karbida epsilon berfungsi untuk menghindari material dari patah getas (Ebrahim, 1984).

Dari pengujian keausan menunjukkan hasil yang berbanding lurus bila dibandingkan dengan hasil dari pengujian kekerasan sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan kekerasan juga telah meningkatkan hasil ketahanan aus dari material tersebut. Dengan menggunakan mesin pin on disc dan beban yang kostan sebesar 1.8 Kg didapatkan spesimen dengan laju keausan terendah terdapat pada spesimen dengan kode HT200T60



dengan laju keausan 2mm/jam. Spesimen lain dengan kode HT200T120 dan HT250T60 memiliki laju keausan yang sama yaitu 2.67mm/jam. Spesimen dengan kode HT250T120 dan HT300T60 memiliki laju keausan yang sama pula yaitu sebesar 3.33mm//jam. Sedangkan laju keausan tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan kode HT300T120 dengan laju keausan 4.67mm/jam. Laju keausan menurun bila dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberi pelakuan panas yaitu dengan laju 7.33mm/jam. Kekerasan suatu material sangat mempengaruhi tingkat ketahanan aus dari material tersebut (Ikhwansyah, 2012). Pada abrasive wear, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan suatu baja terhadap ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media abrasive untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut (Ratia, 2015). Pengaruh proses *tempering* adalah hilangnya sebagian tetragonalitas dari martensit, presipitasi besi karbida dan dekomposisi austenit sisa menjadi ferit dan sementit (Hamzah, 2008). Perubahan struktur mikro tersebut membuat laju keausan semakin meningkat setelah mengalami proses *tempering*



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh waktu tahan *tempering* terhadap kekerasan dan struktur mikro adalah semakin lama waktu tahan *tempering*, maka kekerasan akan menurun dan struktur mikro yang terbentuk adalah tempered martensit dan senyawa karbida
2. Pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan dan struktur mikro adalah semakin tinggi temperatur *tempering*, maka kekerasan akan menurun dan struktur mikro yang terbentuk adalah tempered martensit dan senyawa karbida

5.2 Saran

1. Pada saat melakukan pembelian *chain shackle* harus disertakan komposisi kimia dan sifat mekanik dari material tersebut
2. Menggunakan produk lain yang sesuai standar material *chain shackle*
3. Jika material *chain shackle* tidak memungkinkan diganti dengan produk lain maka perlakuan panas perlu dilakukan untuk meningkatkan lifetime dari material

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah. 2011. *Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif*. Yogyakarta: Pusat Penelitian Limbah Radioaktif BATAN.
- Askeland, Donald R. 2010. *The Science and Engineering of Materials*. USA: Congage Learning
- ASTM A29. 1999. *Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought and ColdFinished*. USA: ASM International.
- ASTM A941. 2003. *Terminology Relating to Steel, Stainless Steel, Related Alloys, and Ferroalloys* . USA: ASM International.
- ASTM A973. 2003. *Standard Specification for Grade 100 Alloy Steel Chain*. USA: ASM International.
- ASTM G99. 2003. *Standard Test Method for Wear testing with Pin-on-Disk Apparatus*. USA: ASM International.
- ASM Handbook. 1991. *ASM Handbook Volume 4 Heat treatment*. USA: ASM International.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bayu Adie Septianto, dan Yuli Setiyorini. 2013. *Pengaruh Media Pendingin pada Heat treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi
- Blau, P. J. 2001. *The Significance and The Use of Friction Coefficient*. Amsterdam: Tribology International
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Buckley, D.H. 1981. *Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication*. Amsterdam: Elsevier

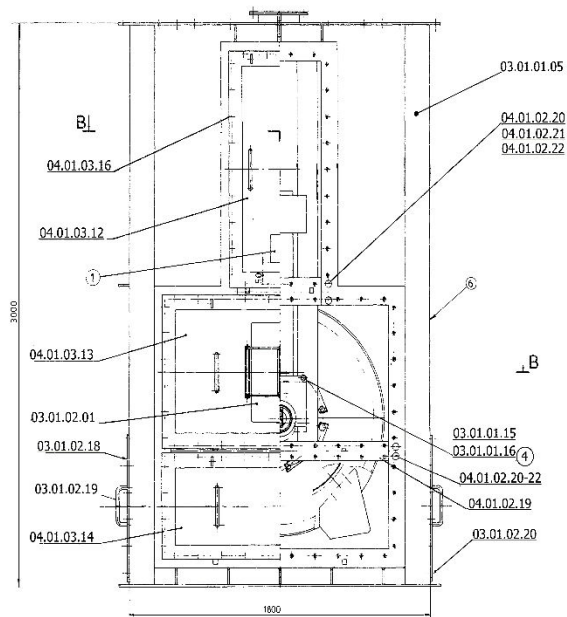
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Darmanto. 2014. *Analisis Keausan Aluminium Menggunakan Triboster Pin-on-Disc dengan Variasi Kondisi Pelumas*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Dieter, George E. 1987. *Metallurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- DIN 745. 1994. *Chain U-links (shackles) for conveyors*. Germany: DIN Standart
- Dwi Yani, Rina ; Pratomo, Tri ; Cahyono, Hendro. 2008. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60*. Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.
- Ebrahimi-Zia. 1984. *MECHANISMS OF TEMPERED MARTENSITE EMBRITTLEMENT IN MEDIUM-CARBON STEELS*. Great Britain: Pergamon Press
- Galindo Nava, E.I. 2015. *A model for the microstructure behaviour and strength evolution in lath martensite*. United Kingdom: Acta Materialia
- Hamsi, Alvian. 2009. *STUDI VARIASI SUDUT KEMIRINGAN BUCKET ELEVATOR PABRIK KELAPA SAWIT KAPASITAS PABRIK 30 TON TBS/JAM HUBUNGANNYA DENGAN DAYA MOTOR, KECEPATAN BUCKET DAN KAPASITAS BUCKET*. Sumatera Utara: USU
- Hokkirigawa, K. And Kato, K. 1989. *Theoretical Estimation of Abrasive Wear Resistance Based on Microscopic Wear Mechanism*. New York: Wear of Materials.
- Ismalina, Nur. 2013. *FAILURE ANALYSIS OF CONVEYOR CHAIN LINKS: A CASE STUDY AT TOP GLOVE SDN. BHD*. Malaysia: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
- Isnauri, Ikhwansyah. 2012. *ANALISA PENGARUH BEBAN TERHADAP LAJU KEAUSAN AL-Si ALLOY DENGAN METODE PIN ON DISK TEST*. Sumatra: Universitas Sumatera Utara

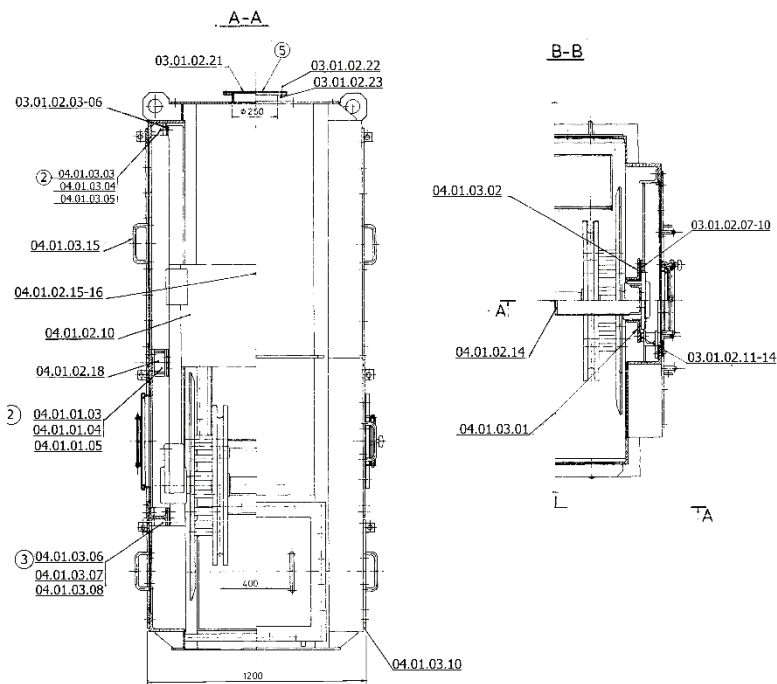
- Maherios, Curpethino. 2017. ***Mechanical behavior of tempered martensite: Characterization and modeling***. France: Cross Mark
- Nishida, Shin-ichi. 1992. ***Failure Analysis in Engineering Application***. Oxford: Butterworth- Heinemann.
- Ohmori, Yasuya. 1991. *Epsilon Carbide precipitation during tempering of plain carbon martensite*. Japan: Departemen Material Science and Engineering
- Pewag. 2009. ***Bucket Elevator Chains and Components***. Austria: Pewag Group.
- Prasetya, Dony. 2017. ***ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU TAHAN TEMPERING DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN MATERIAL CROSSBAR YANG DIHARDENING SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA CROSSBAR***. Surabaya: Departemen Teknik Material
- Ratia, V. 2015. ***Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions***. Tampere: Tampere University of Technology.
- Sadat Hamzah, Muhammad. 2008. ***PENINGKATAN KETAHANAN AUS BAJA KARBON RENDAH DENGAN METODE CARBURIZING***. Palu: Universitas Tadulako
- Sandvik. 1983. ***Crystallography and Substructure of Lath Martensite Formed in Carbon Steels***. Urbana: University of Illinois
- Stachowiak, G.W. 2005. ***Wear–Materials, Mechanisms And Practice***. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Sekhar and Screniner. 1971. ***Tempering of Martensite: A Field Ion Microscope Study***. Rhode Island: Brown University
- Steenkiste, Van. 2011. ***ABRASIVE WEAR OF LINK CHAINS***. Belgium: Ghent University

- Xu, Ke. *ϵ -Iron carbide as a low-temperature Fischer–Tropsch synthesis catalyst*. *Nat. Commun.* 5:5783 doi: 10.1038/ncomms6783 (2014).
- Xu, Zhi-Bao. 2017. ***Mechanical Properties of a microalloyed bainitic steel after hot forging***. Beijing: Nanjing Institute of Technology
- Yogantoro, Anom. 2010. ***Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klater Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)***. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zum Gahr, K.H. 1987. ***Microstructure and Wear of Materials***. Amsterdam: Tribology Series.

LAMPIRAN

1. Gambar Bucket Elevator





(6) For inlet see order drawing.

- (5) Connection of motion pipe, if any.
 (1) To be fitted on right-hand guide rail for
 taking of take-up weight during shipment.
 To be removed during erection at site.
 (2) To be tightened with torque spanner to 80 Nm.
 (2) To be tightened with torque spanner to 100 Nm.
 (1) Rotating plate to be fitted here.

For mounting in workshop, see workshop
 instructions No. V 2811.

© Finesh Turner, Copenhagen, Denmark
 For legal and technical see instruction No. 320020

(6) Req. written on mounting drawing.

- (5) Tightening for vertical adjustment.
 (4) Adjusting height adjustment for allowing
 at stream-out under transport. 1. Jerns. ved
 montage på anlæg.
 (2) Spindel og mønstre til 80 Nm.
 (2) Spindel og mønstre til 100 Nm.
 (1) Hæklade anbringes her.

Ang. montage i værksted, se værksted-
 instruktion nr. V 2811.

© Finesh Turner, Copenhagen
 For legal and technical see instruction No. 320020

F. L. SMITH & CO. A/S KØBENHAVN COPENHAGEN - COPENHAGEN	Scale	1:10	For Jerns.
	Drawn		By S. P. J.
	Check		
	Rev.		
Bucket elevator HP630			
Type B			
Take-up station			
Assembly drawing			
			No. 1.069627

2. Lampiran Pengujian Kekerasan

data hardness (HV)							
hardening-tempeing						tanpa perlakuan	hardening
1 jam			2 jam				
11	12	13	21	22	23		
620	565	536	595	544	502	267	670
595	531	527	591	545	533	271	678
575	593	542	534	524	505	253	710
579	579	515	589	534	518	260	686
571	559	534	598	536	520	275	704
588	565.4	530.8	581.4	536.6	515.6	265.2	689.6

Note : - angka di depan menandakan waktu dalam jam

- angka di belakang menandakan :

1 = 200°C

2 = 250°C

3 = 300°C

3. Lampiran Pengujian Keausan

data keausan (mm)								
spesimen	t0(mm)	t1(mm)	t0-t1(mm)	waktu	RPM	keausan(mm)/waktu(jam)	keliling lingkaran	Rasio Keausan(mm)/keliling(mm)
11	13.1	13.1	0.1	3 menit	1000	2	163.28	0.012248898
	13	12.9						
	13.1	12.9						
	13.06667	12.96667						
12	14.9	14.8	0.133333	3 menit	1000	2.666666667	163.28	0.016331863
	14.9	14.7						
	14.8	14.7						
	14.86667	14.73333						
13	14.3	14.4	0.166667	3 menit	1000	3.333333333	163.28	0.020414829
	14.7	14.6						
	14.9	14.4						
	14.63333	14.46667						
21	14.8	14.8	0.133333	3 menit	1000	2.666666667	163.28	0.016331863
	14.9	14.8						
	15	14.7						
	14.9	14.76667						
22	14.8	14.6	0.166667	3 menit	1000	3.333333333	163.28	0.020414829
	15	14.8						
	14.8	14.7						
	14.86667	14.7						
23	14.3	14.1	0.233333	3 menit	1000	4.666666667	163.28	0.028580761
	14.3	13.9						
	14	13.9						
	14.2	13.96667						
TP	20	19.7	0.366667	3 menit	1000	7.333333333	163.28	0.044912625
	20	19.6						
	20	19.6						
	20	19.63333						

Note : - angka di depan menandakan waktu dalam jam

- angka di belakang menandakan :

1 = 200°C

2 = 250°C

3 = 300°C

4. Lampiran Hasil Uji Komposisi (OES)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	1	Material :	CARBON STEEL
Customer :	ZAHRA LUTHFIAH S / ITS	Dimension :	5X20X20 mm
Lab-no. :	LAB. UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	AGUS	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ W.
Date :	9/15/2017		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	98.2	0.309	0.245	0.749	0.0190	0.0187	0.235	0.0165
2	98.2	0.288	0.241	0.750	0.0187	0.0167	0.237	0.0143
3	98.2	0.301	0.248	0.737	0.0207	0.0188	0.234	0.0140
Ave	98.2	0.299	0.245	0.745	0.0195	0.0181	0.235	0.0149
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0411	0.0225	0.0030	0.0398	0.0097	0.0048	0.0061	0.0022
2	0.0414	0.0226	0.0029	0.0487	0.0095	0.0045	0.0039	< 0.0010
3	0.0415	0.0224	0.0030	0.0432	0.0110	0.0041	0.0031	< 0.0010
Ave	0.0413	0.0225	0.0030	0.0439	0.0101	0.0045	0.0044	< 0.0010
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0044	0.0005	< 0.0001	0.0077	0.0030	0.0034	0.0019
2	< 0.0010	0.0044	0.0006	< 0.0001	0.0081	0.0017	0.0041	0.0017
3	< 0.0010	0.0032	0.0005	< 0.0001	0.0072	0.0017	0.0055	0.0027
Ave	< 0.0010	0.0040	0.0005	< 0.0001	0.0077	0.0021	0.0043	0.0021
	N	Se	Sb	Ta				
1	0.0180	0.0070	0.0165	0.0080				
2	0.0146	0.0072	0.0341	0.0068				
3	< 0.0030	0.0096	0.0209	0.0235				
Ave	0.0108	0.0079	0.0238	0.0128				

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
6. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Avandi selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Teman – teman seperktrakan penulis Adnan, Odi, Tresna, Reza, Redha, Redy, Fadhli dan Ikhwan yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.

10. Teman – teman seperjuangan Tugas Akhir Analisa Kegagalan, Adnan, Rifki, Redy, Zahra, Pandu, dan Argya yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
11. Teman – teman grader metalurgi yang menemani penulis ketika kesepian.
12. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
13. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman - teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Redy Rizky Santoso lahir di Blora pada tanggal 20 Juni 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Parung 01. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 2 Depok. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 1 Depok. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis juga tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan departemen seperti PKTI TD dan OKKBK. Penulis juga tercatat sebagai Kepala Departemen Keilmiahan HMMT FTI-ITS 2016/2017.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Krakatau Steel pada bulan Juli-Agustus dan selama kerja praktek penulis memiliki topic dengan judul “ANALISA HASIL ANNEALING PROSES DARI BAF PADA MATERIAL JIS G3141 SPCC-SD”

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang korosi dan analisa kegagalan dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN MATERIAL *CHAIN SHACKLE* YANG DI-*HARDENING* SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *CHAIN SHACKLE*”

(Halaman ini sengaja dikosongkan)